

# ANALISIS PEMODELAN PERILAKU BEBAN DAN PERPINDAHAN PADA PORTAL DENGAN BRACING EKSENTRIS TIPE INVERTED V

## SKRIPSI TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ALAN DHARMASAPUTRA SETIADI**

**NIM. 175060100111020**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2020**

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISIS PEMODELAN PERILAKU BEBAN DAN PERPINDAHAN

### PADA PORTAL DENGAN BRACING EKSENTRIS TIPE INVERTED V

#### SKRIPSI

#### TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ALAN DHARMASAPUTRA SETIADI**

**NIM. 175060100111020**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 16 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Dr. Eng. Ming Narto W., ST, M.Sc.**

**Dr. Eng. Lilya Susanti., ST, MT.**

NIP. 201102 840705 1 001

NIP. 19850221 201903 2 003

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1



**Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)**

NIP. 19810220 200604 1 002



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dengan berkat, rahmat, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Analisis Pemodelan Perilaku Beban dan Perpindahan pada Portal dengan Bracing Eksentris Tipe Inverted V**”. Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Sehingga pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak **Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo., ST., MT.,** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. Bapak **Dr. Eng Indradi Wijatmiko., ST, M.Eng (Prac.)** selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Bapak **Dr. Eng. Ming Narto W., ST., MT., M.Sc.,** selaku Dosen Pembimbing I
4. Ibu **Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.,** selaku Dosen Pembimbing II
5. Bapak **Dr. Ir. As’ad Munawir, MT.** selaku Dosen Penasehat Akademik
6. Bapak **Dr. Ir. Wisnumurti., MT.,** selaku KKJF Struktur.
7. Bapak **Soeni Setiadi** dan **Lisa Widyanto** selaku orang tua yang membimbing penulis dari kecil hingga sampai saat ini.
8. Tim skripsi Portal Bracing yang terdiri dari **Raissa, Kamal, Prami** yang telah menjadi teman seperjuangan dalam menempuh skripsi.
9. Kelompok PKL Tol Jakarta – Kunciran - Cengkareng yaitu **Irfan, Catur, Febbi, Khalda, Mila** yang telah menjadi teman seperjuangan dalam megenal ilmu – ilmu lapangan Teknik Sipil.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna. Sehingga saran dan kritik sangat diperlukan untuk penelitian lanjutan di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan ilmu yang bermanfaat bagi pengembangan dunia Teknik Sipil

Malang, 26 September 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR TABEL .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
RINGKASAN .....	ix
SUMMARY .....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Batasan Masalah .....	2
1.6 Manfaat Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Struktur Portal Baja Tahan Gempa .....	5
2.1.1 MRF ( <i>Moment Resisting Frames</i> ) .....	5
2.1.2 CBF ( <i>Concentrically Braced Frame</i> ) .....	6
2.1.3 EBF ( <i>Eccentrically Braced Frame</i> ) .....	8
2.2 Baja .....	10
2.3 <i>Engineering Stress</i> dan <i>True Stress</i> .....	13
2.4 <i>Engineering Strain</i> dan <i>True Strain</i> .....	13
2.5 Grafik Hubungan <i>Engineering Stress – Strain</i> dan <i>True Stress - Strain</i> .....	14
2.6 Konversi <i>Engineering Stress – Strain</i> ke <i>True Stress - Strain</i> .....	15
2.7 Elastisitas .....	16
2.8 Plastisitas .....	17
2.9 Kriteria Leleh .....	17
2.9.1 Kriteria Von Mises .....	17
2.10 Perpindahan .....	18
2.11 Gempa Bumi .....	19



2.12 Analisis Gaya Lateral.....	20
2.13 Analisis Statis Ekuivalen .....	21
2.14 Load Application Control .....	21
2.15 Link Beam .....	21
2.16 Software ABAQUS Student Edition .....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	27
3.2 Alat Penelitian .....	27
3.3 Tahapan Penelitian .....	27
3.4 Rancangan Penelitian .....	28
3.6 Variabel Penelitian .....	28
3.6 Pemodelan dengan Software ABAQUS Student Edition.....	28
3.7 Hipotesis Penelitian .....	35
<b>BAB VI PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1 Pemodelan Struktur Portal <i>Bracing Inverted V</i> 2D .....	37
4.1.1 Gambaran umum .....	37
4.1.2 Spesifikasi material .....	40
4.2 Analisis Pemodelan Struktur Portal <i>Bracing</i> Eksentris Tipe <i>Inverted V</i> 41	
4.3 Respon Struktur Akibat Pembebanan Statis .....	43
4.4 <i>History Output</i> Analisis Pemodelan Portal <i>Bracing</i> Tipe <i>Inverted V</i> .....	44
4.4.1 Hasil Analisis Portal <i>Bracing</i> Tipe <i>Inverted V</i> Meshing 4 .....	45
4.4.1.1 Hasil Analisis Portal <i>Bracing</i> Eksentris 0 cm Tipe <i>Inverted V</i> .....	45
4.4.1.2 Hasil Analisis Portal <i>Bracing</i> Eksentris 60 cm Tipe <i>Inverted V</i> .....	47
4.4.1.3 Hasil Analisis Portal <i>Bracing</i> Eksentris 120 cm Tipe <i>Inverted V</i> .....	49
4.4.2 Hasil Analisis Portal <i>Bracing</i> Tipe <i>Inverted V</i> Meshing 4 .....	51
4.4.2.1 Hasil Analisis Portal <i>Bracing</i> Eksentris 0 cm Tipe <i>Inverted V</i> .....	51
4.4.2.2 Hasil Analisis Portal <i>Bracing</i> Eksentris 60 cm Tipe <i>Inverted V</i> .....	

4.4.2.3 Hasil Analisis Portal <i>Bracing</i> Eksentris 120 cm Tipe <i>Inverted</i>	53
<i>Bracing</i> Tipe <i>Inverted</i> V	55
4.5 Perbandingan Hasil Analisis Pengaruh Eksentrisitas pada Portal	
<i>Bracing</i> Tipe <i>Inverted</i> V akibat Beban Lateral	57
4.5.1 Perbandingan Hasil Analisis Pengaruh Eksentrisitas pada Portal	
<i>Bracing</i> Tipe <i>Inverted</i> V Meshing 4	57
4.5.2 Perbandingan Hasil Analisis Pengaruh Eksentrisitas pada Portal	
<i>Bracing</i> Tipe <i>Inverted</i> V Meshing 25	59
<b>BAB V PENUTUP</b>	<b>64</b>
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	64
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>67</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Mekanik Baja Struktural .....	11
Tabel 2.2	Hubungan antara <i>Magnitude</i> - Intensitas .....	19
Tabel 4.1	Spesifikasi Material .....	40
Tabel 4.2	Hasil Konversi <i>Engineering Stress</i> – <i>Strain</i> ke <i>True Stress</i> - <i>Strain</i> .....	40
Tabel 4.3	Perbandingan Gaya Kiri dan Perpindahan dari Masing – Masing Pemodelan <i>Meshing</i> 4 .....	57
Tabel 4.4	Perbandingan Gaya Kanan dan Perpindahan dari Masing – Masing Pemodelan <i>Meshing</i> 4 .....	58
Tabel 4.5	Perbandingan Gaya Total dan Perpindahan dari Masing – Masing Pemodelan <i>Meshing</i> 4 .....	59
Tabel 4.6	Perbandingan Gaya Kiri dan Perpindahan dari Masing – Masing Pemodelan <i>Meshing</i> 25 .....	60
Tabel 4.7	Perbandingan Gaya Kanan dan Perpindahan dari Masing – Masing Pemodelan <i>Meshing</i> 25 .....	61
Tabel 4.8	Perbandingan Gaya Total dan Perpindahan dari Masing – Masing Pemodelan <i>Meshing</i> 25 .....	61

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Vertical dan Horizontal Bracing</i>	6
Gambar 2.2	<i>Single Diagonal Based Frame</i>	7
Gambar 2.3	<i>Inverted V Bracing</i>	7
Gambar 2.4	<i>V Bracing</i>	7
Gambar 2.5	<i>X Bracing</i>	7
Gambar 2.6	<i>Two Story X Bracing</i>	7
Gambar 2.7	<i>K Bracing</i>	8
Gambar 2.8	Perbedaan EBF dan CBF	9
Gambar 2.9	Eksentrisitas Portal Struktur EBF	9
Gambar 2.10	Perbandingan Perilaku Model Sistem Rangka Baja	10
Gambar 2.11	Hubungan Teganan dan Regangan Baja	12
Gambar 2.12	Grafik Hubungan <i>Engineering Stress – Strain</i> dan <i>True Stress – Strain</i>	14
Gambar 2.13	Garis Modulus	16
Gambar 2.14	Gaya – Gaya Aksial Pada Elemen Struktur	18
Gambar 2.15	Gaya Geser Pada Elemen Struktur	19
Gambar 2.16	Wilayah Gempa Indonesia (SNI 03 – 1726 – 2002)	20
Gambar 2.17	Gaya – Gaya yang Bekerja pada <i>Link Beam</i>	22
Gambar 2.18	Grafik Klasifikasi <i>Link</i>	24
Gambar 3.1	<i>Input</i> Koordinat di <i>Software ABAQUS Student Edition</i>	29
Gambar 3.2	Penggabungan Koordinat Membentuk Portal <i>Bracing</i> Eksentris Tipe <i>Inverted V</i>	29
Gambar 3.3	<i>Input</i> Data Mutu Baja	30
Gambar 3.4	<i>Input</i> Dimensi Profil Baja	31
Gambar 3.5	<i>Input</i> Data Mutu Baja ke Profil Baja	32
Gambar 3.6	<i>Input</i> Profil Baja ke Model Struktur	32
Gambar 3.7	<i>Input</i> Tumpuan	42
Gambar 3.8	Perintah <i>Assembly</i>	33
Gambar 3.9	Perintah <i>Meshing</i>	33



vii

Gambar 4.23 Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 0 cm <i>Node Kanan</i>	
<i>Meshing 25</i> .....	51
Gambar 4.24 Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 0 cm <i>Meshing 25</i> ..	52
Gambar 4.25 Pemodelan Perpundahan Portal <i>Bracing</i> Eksentris 0 cm Tipe	
<i>Inverted V Meshing 25</i> .....	52
Gambar 4.26 Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 60 cm <i>Node Kiri</i>	
<i>Meshing 25</i> .....	53
Gambar 4.27 Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 60 cm <i>Node Kanan</i>	
<i>Meshing 25</i> .....	53
Gambar 4.28 Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 60 cm	
<i>Meshing 25</i> .....	54
Gambar 4.29 Pemodelan Perpundahan Portal <i>Bracing</i> Eksentris 60 cm Tipe	
<i>Inverted V Meshing 25</i> .....	54
Gambar 4.30 Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 120 cm <i>Node Kiri</i>	
<i>Meshing 25</i> .....	55
Gambar 4.31 Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 120 cm <i>Node Kanan</i>	
<i>Meshing 25</i> .....	55
Gambar 4.32 Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 120 cm	
<i>Meshing 25</i> .....	56
Gambar 4.33 Pemodelan Perpundahan Portal <i>Bracing</i> Eksentris 120 cm Tipe	
<i>Inverted V Meshing 25</i> .....	56
Gambar 4.34 Grafik Perbandingan Beban <i>Node Kiri</i> dan Perpindahan <i>Meshing 4</i> ..	57
Gambar 4.35 Grafik Perbandingan Beban <i>Node Kanan</i> dan Perpindahan	
<i>Meshing 4</i> .....	58
Gambar 4.36 Grafik Perbandingan Beban dan Perpindahan <i>Meshing 4</i> ..	59
Gambar 4.37 Grafik Perbandingan Beban <i>Node Kiri</i> dan Perpindahan	
<i>Meshing 25</i> .....	60
Gambar 4.38 Grafik Perbandingan Beban <i>Node Kanan</i> dan Perpindahan	
<i>Meshing 25</i> .....	61
Gambar 4.39 Grafik Perbandingan Beban dan Perpindahan <i>Meshing 25</i> ..	62



## RINGKASAN

**Alan Dharmasaputra Setiadi**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April, 2021, *Analisis Pemodelan Perilaku Beban dan Perpindahan pada Portal dengan Bracing Eksentris Tipe Inverted V*, Dosen pembimbing : Dr. Eng. Ming Narto Wijaya., ST., MT., M.Sc dan Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.,

Indonesia merupakan negara yang terletak di antara tiga lempeng tektonik sehingga bencana alam gempa bumi sering terjadi di negara Indonesia. Selain itu bencana gempa bumi juga bisa terjadi akibat letusan gunung berapi. Sehingga bangunan yang tahan gempa sangat penting untuk diterapkan di Indonesia dikarenakan dapat mengurangi resiko korban jiwa akibat runtuhnya suatu striktur bangunan. *Bracing* merupakan salah satu alternatif perkuatan yang cukup sering digunakan untuk suatu gedung menahan beban lateral atau gempa.

Dalam merencanakan suatu gedung yang diberi perkuatan *bracing* juga harus diperhitungkan dari segi keindahan. Oleh karena itu tidak semua gedung bangunan bisa diberi *bracing* secara kosentris dikarenakan biasanya terhalang oleh adanya jendela maupun pintu. Oleh karena itu solusi dari terhalangnya *bracing* dengan jendela maupun pintu adalah digunakannya *bracing* eksentris. Sehingga penelitian ini dilakukan analisis portal dengan *bracing* eksentris tipe *inverted V* dengan 3 pemodelan yaitu *bracing* eksentrisitas 0 cm, 60 cm, dan 120 cm. Selain variabel besarnya eksentrisitas, pada penelitian kali ini juga dilakukan dua kali analisis pada setiap model dengan variabel *meshing*. Analisis ini difokuskan untuk mengetahui perilaku portal terhadap beban lateral dan perpindahan yang terjadi akibat beban lateral tersebut. Analisis struktur portal dilakukan dengan bantuan *software ABAQUS Student Edition*.

Langkah pertama dalam melakukan analisis menggunakan *software ABAQUS Student Edition* adalah dilakukan pemodelan struktur portal, memasukkan sifat – sifat mekanik baja BJ 37 yang sudah dikonversi dari *engineering stress – strain* ke *true stress – strain*. Setelah itu memasukkan profil penampang berdasarkan tabel Morisco dan juga memasukkan data penampang yang akan digunakan pada analisis kali ini. Setelah itu dilakukan *input* beban lateral dengan cara *trial and error* hingga pemodelan struktur portal eksentrisitas 0 cm runtuh dan kemudian diaplikasikan kepemodelan eksentrisitas 60 cm dan 120 cm. Kemudian dilakukan *input encastre*



(sendi jepit) dan juga *meshing* pada pemodelan struktur di *software* ABAQUS *Student Edition*, dan dilakukan *setting field* dan *history output* untuk mendapatkan hasil analisis yang diinginkan.

Hasil analisis menunjukkan pemodelan struktur yang paling kuat menahan beban lateral adalah struktur portal baja dengan eksentrisitas 0 cm sebesar 52,316 ton pada *meshing* 4 dan 50,974 ton pada *meshing* 25 dan yang paling lemah menahan beban lateral adalah struktur portal baja dengan eksentrisitas 120 cm sebesar 32,284 ton pada *meshing* 4 dan 29,949 ton pada *meshing* 25. Hal itu juga berbanding lurus dengan perpindahan yang dialami suatu struktur. Perpindahan paling kecil dialami oleh struktur portal baja dengan eksentrisitas 0 cm sebesar 14,8705 mm pada *meshing* 4 dan 14,211 mm pada *meshing* 25. Sedangkan struktur portal yang mengalami perpindahan paling besar adalah struktur portal baja dengan eksentrisitas 120 cm sebesar 261,67 mm pada *meshing* 4 dan 240,774 mm pada *meshing* 25.

**Kata Kunci :** struktur portal baja, *bracing* eksentris, beban lateral, beban, perpindahan, ABAQUS *Student Edition*.





## SUMMARY

**Alan Dharmasaputra Setiadi**, *Department of Civil Engineering Faculty of Engineering Brawijaya University, April, 2021, Analysis of Load and Displacement Behaviour on Inverted V Type of Eccentric Braced Frames*, Advisors : Dr. Eng. Ming Narto Wijaya., ST., MT., M.Sc and Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.,

Indonesia is a country which located between three tectonic plates with the result that earthquakes often occur in Indonesia. In addition, earthquakes can also occur due to volcanic eruptions. So that earthquake-resistant buildings are very important to be applied in Indonesia because it can reduce the risk of fatalities due the collapse of a building stricture. Bracing is an alternative reinforcement that is quite often used for a building to withstand lateral loads or earthquakes.

In planning construct a building that is given bracing reinforcement must also be taken into account in terms of beauty. Therefore, not all buildings can be construct as concentrically bracing because they are usually blocked by windows or doors. Therefore, the solution of blocking the bracing with windows or doors is to use eccentrically bracing. So in this research is carried out portal analysis with inverted V type eccentric bracing with 3 models, namely 0 cm, 60 cm, and 120 cm eccentricity bracing. In addition to the magnitude of the eccentricity variable, in this study, two analyzes were also performed on each model with a meshing variable. This analysis is focused on knowing the behavior of the portal against lateral loads and displacements that occur due to these lateral loads. The portal structure analysis was carried out with the help of the ABAQUS Student Edition software.

The first step in conducting an analysis using the ABAQUS Student Edition software is modeling the portal structure, entering the mechanical properties of BJ 37 steel which has been converted from engineering stress — strain to true stress — strain. After that, enter the cross-sectional profile based on the Morisco table and also enter the cross-sectional data that will be used in this analysis. After that, the lateral load input was carried out by trial and error until the modeling of the 0 cm eccentricity portal structure collapsed and then applied the 60 cm and 120 cm eccentricity modeling. Then input encastre (joints) and also meshing on the structural modeling



in the ABAQUS Student Edition software, and setting the fields and history output to get the desired analysis results.

The analysis results show that the structural modeling that is the strongest withstanding lateral loads is the steel portal structure with an eccentricity of 0 cm of 52,316 tons at meshing 4 and 50,974 tons at meshing 25 and the weakest resisting lateral loads is the steel portal structure with an eccentricity of 120 cm at 32.284 tons at meshing 4 and 29.949 tons on meshing 25. It is also directly proportional to the displacement experienced by a structure. The smallest displacement is experienced by the steel portal structure with an eccentricity of 0 cm of 14.8705 mm on meshing 4 and 14,211 mm on meshing 25. Meanwhile, the portal structure that experiences the greatest displacement is the steel portal structure with an eccentricity of 120 cm of 261.67 mm on the meshing. 4 and 240.774 mm at meshing 25.

**Key Words :** steel frame structure, eccentrically bracing, lateral load, load, displacement, ABAQUS Student Edition





# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Struktur bangunan dengan menggunakan baja sebagai materialnya masih menjadi prioritas praktisi teknik sipil dikarenakan material baja merupakan material struktur yang baik dalam menahan gempa. Menurut Dewobroto (2015) hal tersebut terjadi dikarenakan material baja memiliki kekuatan dalam menahan beban yang relatif tinggi dan sifat elatis baja yang memberikan sumbangan daktilitas dan disipasi energi yang lebih baik dibandingkan material beton. Hal itu diperkuat oleh pernyataan dari Prof. Iswandi (2018) yang merupakan pakar dari teknik sipil ITB yang berkata bahwa “Daktail merupakan salah satu sifat bangunan untuk mampu bertahan akibat guncangan seperti halnya gempa bumi”.

Indonesia adalah negara yang cukup sering terkena bencana gempa bumi dikarenakan Indonesia berada di antara tiga lempeng tektonik yaitu Pasifik, Eurasia dan Indo –Australia. Selain sering terjadinya gempa tektonik yang terjadi akibat pergeseran pada lempengan bumi secara mendadak, Indonesia juga sering mengalami gempa bumi akibat adanya letusan gunung berapi yang dapat disebut sebagai gempa vulkanik. Contoh dari gempa tektonik yang pernah terjadi di Indonesia adalah gempa bumi yang terjadi di Donggala, Palu pada tahun 2018 tepatnya berada di pantai barat Pulau Sulawesi Utara. Dan untuk contoh gempa vulkanik yang pernah terjadi di Indonesia adalah gempa yang terjadi akibat meletusnya Gunung Sinabung pada tanggal 10 Agustus 2020. Tentunya baik gempa tektonik dan gempa vulkanik menimbulkan kerugian yang sangat besar dari sisi korban jiwa, material, dan bangunan.

Oleh karena itu struktur bangunan tahan gempa sangat penting untuk diterapkan di Indonesia, sehingga dengan adanya struktur bangunan tahan gempa dapat mengurangi korban jiwa yang diakibatkan oleh kegagalan suatu struktur. Dikarenakan salah satu sifat bangunan mampu bertahan akibat adanya gempa bumi adalah sifat daktail, maka baja merupakan material yang cukup baik jika digunakan dalam suatu struktur bangunan. Baja adalah material yang terbuat dari besi dan karbon.

Selain dalam penggunaan material baja sebagai struktur bangunan, suatu struktur bangunan biasanya diberi penambahan balok diagonal yang disebut *bracing*. Kegunaan adanya *bracing* supaya suatu struktur dapat menahan gaya vertikal (beban gravitasi) dan

gaya horisontal (beban gempa). Struktur bangunan yang berada di Indonesia sudah cukup familiar dengan adanya penggunaan *bracing* ini dikarenakan menjadi salah satu alternatif yang cukup mudah baik dari segi perancangan dan juga pelaksanaan.

Pada penelitian ini, penulis melakukan analisa portal *bracing* eksentris tipe *Inverted V* menggunakan *software* ABAQUS. Analisis ini dilakukan dengan perencanaan diberi beban lateral hingga struktur portal hancur. Sehingga diharapkan analisis ini dapat mengetahui pemodelan perilaku beban dan perpindahan yang terjadi pada portal dengan *bracing* eksentris tipe *Inverted V*.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dari penelitian ini untuk mengetahui perbandingan perilaku beban dan perpindahan struktur portal dengan *bracing* eksentris tipe *Inverted V* dengan struktur portal dengan *bracing* CBF tipe *Inverted V*. Variasi yang digunakan pada analisis ini adalah perbedaan jarak eksentrisitas pada portal *bracing* eksentris tipe *Inverted V*.

## 1.3 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas pada analisis ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh eksentrisitas *Inverted V* pada struktur portal akibat beban lateral terhadap perilaku struktur?
2. Bagaimana pengaruh eksentrisitas *Inverted V* pada struktur portal akibat beban lateral terhadap perpindahan struktur?

## 1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh eksentrisitas *Inverted V* pada struktur portal akibat beban lateral terhadap perilaku struktur.
2. Mengetahui pengaruh eksentrisitas *Inverted V* pada struktur portal akibat beban lateral terhadap perpindahan struktur.

## 1.5 Batasan Masalah

1. Portal menggunakan ukuran 4m x 4m.
2. Dimensi profil yang digunakan mengikuti acuan Tabel Profil Konstruksi Baja Ir. Morisco :
  - Kolom menggunakan baja WF 300.200.8.12
  - Balok menggunakan baja WF 200.150.6.9
  - *Bracing* menggunakan baja WF 100.100.6.8



3. Semua material baja yang digunakan pada penelitian ini menggunakan mutu baja BJ 37 dan menggunakan SNI 03 – 1729 – 2002.
4. Pembebanan terhadap struktur portal hanya menggunakan beban lateral.
5. Beban lateral yang dianalisis menggunakan beban gempa di kota Malang dengan menggunakan SNI 1726 : 2019.
6. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan analisis statik ekuivalen.
7. Balok dengan *link beam* merupakan satu kesatuan.
8. Pemodelan dilakukan menggunakan *software* ABAQUS *Student Edition*.
9. Analisis dilakukan menggunakan *software* ABAQUS *Student Edition*.

### 1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari analisis ini adalah:

1. Bagi penulis:

Dapat membandingkan perilaku beban dan perpindahan portal dengan *bracing* eksentris tipe *Inverted V* dengan portal *bracing Inverted V*.

2. Bagi pembaca:

Dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya di masa yang akan datang, sehingga diharapkan dapat menambah pengetahuan mengenai *bracing* di suatu sktruktur portal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Struktur Portal Baja Tahan Gempa

Struktur portal baja tahan gempa memiliki tiga jenis yang terbagi menjadi *Moment Resisting Frames*, *Concentrically Based Framed*, dan *Eccentrically Braced Frame*. Setiap jenis portal tersebut masing – masing memiliki sifat – sifat yang berbeda.

##### 2.1.1 MRF (*Moment Resisting Frames*)

MRF (*Moment Resisting Frames*) merupakan struktur rangka yang mempunyai sifat menyerap energi yang baik, akan tetapi simpangan antar lantai yang terjadi harus cukup besar supaya balok – balok pada setiap lantai suatu struktur akan mengakibatkan adanya sendi – sendi plastis yang berfungsi untuk menyerap beban gempa. Dikarenakan simpangan antar lantai yang cukup besar, maka sambungan antara balok dan kolom harus didesain kuat sehingga mengurangi adanya resiko terjadi kegagalan runtuh. Dengan tidak adanya pengaku pada struktur, sistem MRF akan berdeformasi yang cukup besar akan tetapi juga memberikan simpangan yang juga besar yang dapat membuat struktur menjadi tidak kaku terutama pada bangunan tinggi. Berdasarkan sifat daktail, MRF dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu:

##### 1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Komponen struktur dan sambungan yang diberi beban gempa akan mengalami deformasi inelastis yang terbatas dikarenakan kekakuannya yang lebih besar sehingga daktilitasnya lebih kecil. Biasanya struktur bangunan dengan metode SRPMB digunakan untuk daerah dengan zona gempa wilayah satu dan wilayah dua.

##### 2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem rangka pemikul momen menengah merupakan metode yang digunakan untuk struktur bangunan yang dibangun di daerah zona wilayah tiga dan wilayah empat.

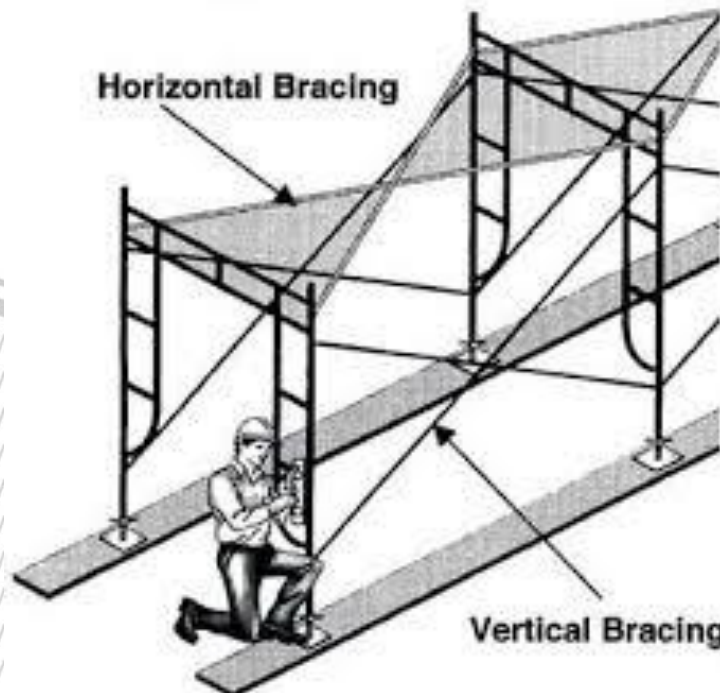
### 3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka pemikul momen khusus biasanya digunakan untuk daerah dengan tingkat resiko gempa yang tinggi yaitu zona wilayah lima dan wilayah enam. Sistem ini di desain supaya memiliki tingkat daktilitas yang tinggi dengan diberi segmen khusus dengan batangnya direncanakan mengalami deformasi inelastik yang besar pada daerah segmen khusus tersebut.

#### 2.1.2 CBF (*Centrically Braced Frame*)

Struktur bangunan yang berada di Indonesia lebih banyak menggunakan sistem *bracing Concentrically Braced Frame* (CBF). Sistem ini terbagi menjadi dua yaitu :

1. *Vertical bracing*. Sistem *vertical bracing* digunakan untuk memindahkan gaya horisontal ke permukaan tanah.
2. *Horizontal bracing*. Sistem *horizontal bracing* biasanya terdapat di setiap lantai dari suatu bangunan supaya dapat memindahkan gaya horisontal menuju *vertical bracing*.

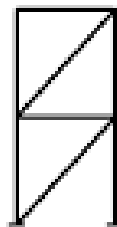


Gambar 2.1 Vertical dan Horizontal Bracing



Selain itu juga terdapat berbagai macam tipe – tipe *bracing Concentrically Braced Frame* (CBF) antara lain :

1. *Single Diagonal Based Frame*



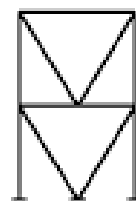
Gambar 2.2 Single Diagonal Based Frame

2. *Inverted V Bracing*



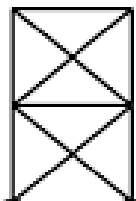
Gambar 2.3 Inverted V Bracing

3. *V Bracing*



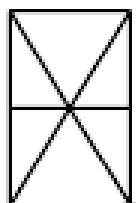
Gambar 2.4 V Bracing

4. *X Bracing*



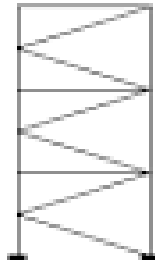
Gambar 2.5 X Bracing

5. *Two Story X Bracing*



Gambar 2.6 Two Story X Bracing

## 6. *K Bracing*



Gambar 2.7 *K Bracing*

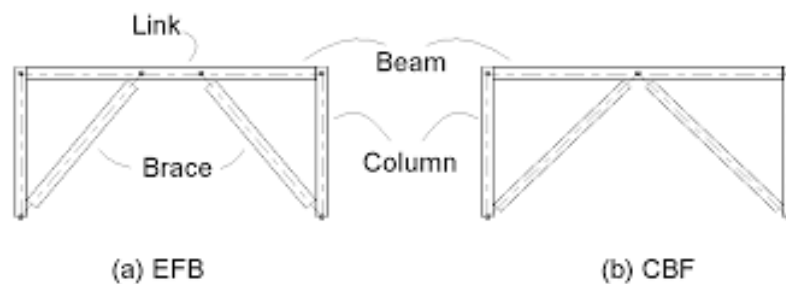
*Concentrically Braced Frame* terkadang tidak bisa diterapkan dilapangan dikarenakan adanya halangan berupa jendela maupun pintu.

### 2.1.3 EBF (*Eccentrically Braced Frame*)

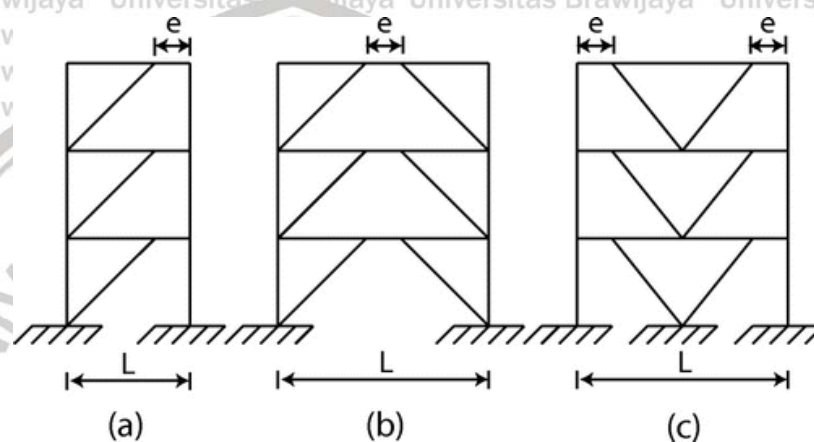
Salah satu solusi dari masalah halangan berupa jendela maupun pintu adalah dengan memasang *bracing* eksentris atau yang juga disebut sebagai EBF (*Eccentrically Braced Frame*). EBF (*Eccentrically Braced Frame*) dapat digunakan di berbagai macam struktur sama halnya seperti CBF (*Concentrically Braced Frame*) antara lain gedung bertingkat, menara, dan jembatan. EBF (*Eccentrically Braced Frame*) banyak menjadi pilihan dari perencanaan struktur dikarenakan dapat memberikan ruang untuk pemasangan jendela maupun pintu. Menurut Engelhardt dan Popov (1989) EBF (*Eccentrically Braced Frame*) merupakan suatu sistem struktur rangka baja tahan gempa yang mempunyai kekakuan elastik yang sangat baik (*excellent elastic stiffness*) dibawah pembebanan lateral, mempunyai daktilitas yang bagus (*good ductility*) dibawah beban gempa besar, kemampuan menyerap energi dan konsisten tanpa terjadi pengurangan kekakuan sampai sejumlah putaran (*cycle*) yang cukup tinggi.

Sistem EBF dapat memenuhi tingkat daktilitas yang tinggi dan juga dapat memberikan tingkat kekakuan elastis yang tinggi seperti CBF (Danesmand dan Hashemi, 2011) dikarenakan struktur EBF hanya membatasi perilaku inelastik di daerah balok *link* yang terletak di antara dua *bracing* eksentrik, akan tetapi *bracing* diagonal, balok bagian luar, dan kolom tetap elastik saat beban gempa bekerja. *Link* adalah panjang balok yang berada diantara *bracing* dan *bracing* atau diantara *bracing* dan portal



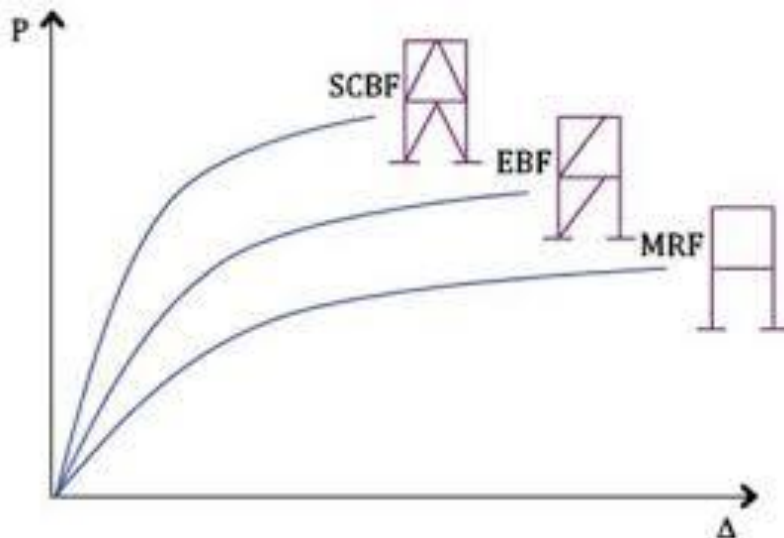


Gambar 2.8 Perbedaan EBF dan CBF



Gambar 2.9 Eksentrisitas Portal Struktur EBF

Konsep dari struktur portal dengan bracing eksentris adalah diharapkan saat struktur portal menerima beban gempa, elemen struktur yang selain balok yang berada di dalam *link* seperti kolom, balok luar diharapkan akan berperilaku elastis sedangkan hanya *link* yang akan berperilaku inelastis. Struktur portal EBF (*Eccentrically Braced Frame*) yang baik, elemen – elemen struktur yang berada di luar *link* didesain berdasarkan kapasitas *link*, sehingga jika kekuatan *link* lebih kecil daripada elemen struktur lainnya, maka kehancuran daktail diharapkan hanya terjadi di *link*. Penyerapan energi pada bagian *flange* lebih kecil daripada di daerah *link* dikarenakan terjadinya tekuk prematur di daerah *flange* yang tergabung dalam bagian balok *link*. Pemasangan kekakuan *web* pada balok *link* dapat mengurangi terjadinya tekuk prematur tersebut meskipun hal tersebut menjadi tidak efisien dikarenakan adanya pengaruh torsi (Hashemi, 2011).



Gambar 2.10 Perbandingan Perilaku Model Sistem Rangka Baja

## 2.2. Baja

Baja adalah salah satu material konstruksi yang sering digunakan pada bangunan bertingkat tinggi. Hal itu dikarenakan baja memiliki keuntungan daripada material struktur lainnya menurut Agus Setiawan (2013) antara lain :

- Mempunyai kekuatan yang tinggi sehingga ukuran dari material struktur baja dapat dikurangi yang otomatis mengurangi berat mati dari struktur tersebut.
- Bersifat homogen karena semua material struktur baja dibuat di suatu pabrik yang sudah memiliki tingkat fabrikasi yang canggih.
- Memiliki tingkat keawetan yang tinggi.
- Memiliki sifat elastis hingga tegangan yang tinggi mengikuti Hukum Hooke.
- Daktilitas yang tinggi dikarenakan baja yang mengalami beban tarik akan mengalami regangan yang cukup besar sebelum terjadinya keruntuhan,
- Kemudahan dalam melakukan konstruksi di lapangan dikarenakan penyambungan antar elemen dengan elemen yang lainnya menggunakan sambungan baut atau las.

Baja dapat dibagi menjadi empat jenis tergantung dari jumlah karbon yang terkandung di dalam baja tersebut antara lain *deed steel* ( $C < 0,1\%$ ), *mild steel* ( $0,1\%$



$< C < 0,25\%$ ), *medium carbon steel* ( $0,25\% < C < 0,7\%$ ), dan *high carbon steel* ( $0,7\% < C < 1,5\%$ ). Semakin tinggi kandungan karbon dari suatu baja maka baja tersebut akan makin kuat, makin keras akan tetapi sifat daktilitas dari baja tersebut akan berkurang. Sehingga jenis baja *mild steel* yang sering digunakan untuk pekerjaan struktur baik sebagai baja tulangan maupun sebagai baja profil.

Selain itu baja juga memiliki sifat mekanis menurut SNI 03 – 1729 – 2002 tentang tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung antara lain :

- Modulus elastisitas :  $E = 200.000 \text{ MPa}$
- Modulus geser :  $G = 80.000 \text{ MPa}$
- Nisbah poisson :  $\mu = 0,3$
- Koefisien pemuaian :  $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Sifat mekanis baja struktural juga dapat dibagi menurut jenis baja menurut SNI 03 – 1729 – 2002 :

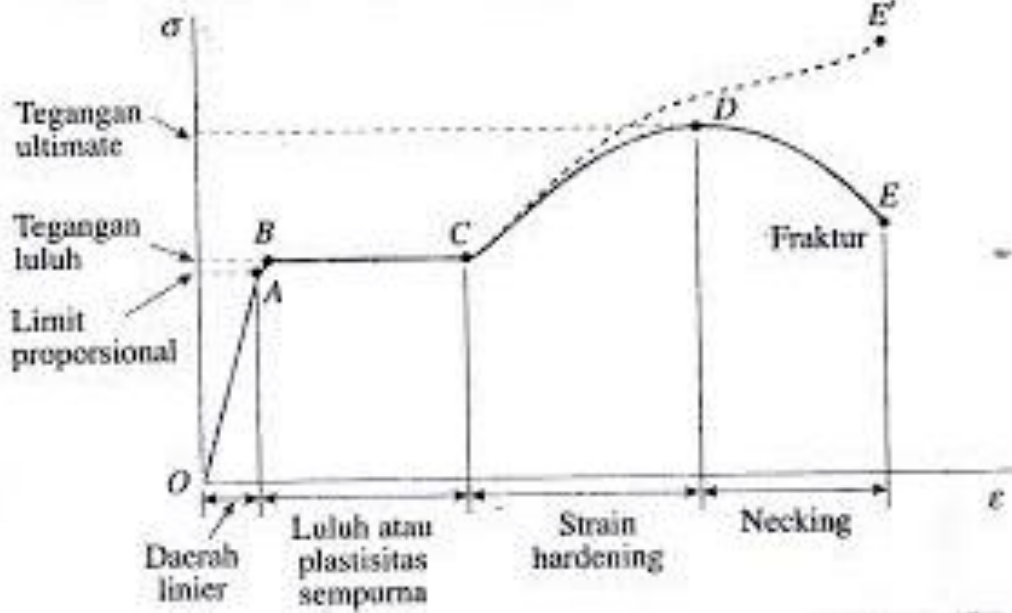
Tabel 2.1

Sifat mekanis baja struktural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan leleh minimum, $f_y$ (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Baja biasanya juga digunakan pada material struktur beton. Baja dapat digunakan sebagai tulangan pada beton tersebut. Baja yang biasa digunakan di lapangan ada dua jenis yaitu tulangan polos dan tulangan ulir. Tulangan ulir memiliki kelebihan daripada tulangan polos yaitu dapat lebih rekat di dalam beton tersebut. Jenis – jenis baja yang menurut SNI 03 – 1729 – 2002 mempunyai nilai daktilitas yang berbeda – beda.

Semakin tinggi suatu mutu baja maka akan semakin tinggi juga nilai daktilitasnya. Baja mutu tinggi bahkan nilai daktilitasnya mendekati nilai satu yang berarti baja tersebut hampir tidak mengalami bagian luluh atau plastisitas sempurna pada kurva hubungan tegangan dan regangan baja. Baja dengan mutu rendah biasanya lebih sensitif terhadap tegangan sisa saat baja tersebut dibuat.



Gambar 2.11 Hubungan Tegangan dan Regangan Baja

Gambar diatas merupakan grafik hubungan tegangan dan regangan baja dengan penjelasan sebagai berikut :

- Material baja diberi beban hingga terjadi regangan permanen  $OB$ . Daerah tersebut disebut daerah plastis.
- Baja akan mengalami deformasi yang sangat panjang meskipun tanpa adanya pertambahan gaya tarik yang disebut titik luluh. Baja seolah – olah kekuatan untuk menahan gaya hilang pada daerah ini.
- Jika material baja diberi beban kembali, maka material baja akan mengalami *strain hardening*. Baja di daerah ini kekuatan untuk menahan tegangan akan muncul kembali. Akan tetapi material baja akan memiliki sifat yang berbeda pada daerah ini. Baja akan mengalami kenaikan tegangan leleh, tegangan tarik, tegangan putus dan daerah plastis dengan tegangan konstan. Akan tetapi daktilitas pada kondisi *strain hardening* akan menurun.
- Jika terus dilakukan pembebanan hingga sampai tegangan *ultimate* dari baja tersebut maka material baja akan terjadi fraktur sehingga dapat dikatakan material baja tersebut sudah hancur.



### 2.3 Engineering Stress dan True Stress

Tegangan menurut Marciniak dkk. (2002) dapat dibedakan menjadi dua yaitu *engineering stress* dan *true stress*. *Engineering stress* adalah tegangan yang didapatkan dari gaya yang dibagi dengan luas permukaan awal. Sehingga *engineering stress* dapat dirumuskan dengan :

$$\sigma_{\text{eng}} = \frac{F}{A_0} \quad (2.1)$$

Dimana :

$\sigma_{\text{eng}}$  = Engineering stress (MPa)

F = Gaya (N)

$A_0$  = Luas permukaan awal ( $\text{mm}^2$ )

*True stress* adalah tegangan yang didapatkan dari gaya yang dibagi dengan luas permukaan area yang aktual sehingga luas tersebut besarnya berubah mengikuti keadaan struktur tersebut. Sehingga *true stress* dapat dirumuskan dengan :

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

Dimana :

$\sigma_t$  = True stress (MPa)

F = Gaya (N)

$A_0$  = Luas permukaan aktual ( $\text{mm}^2$ )

Tegangan dapat dikatakan positif jika tegangan tersebut mengakibatkan adanya tarikan dan dapat dikatakan negatif jika mengakibatkan adanya tekanan.

### 2.4 Engineering Strain dan True Strain

Perubahan ukuran atau bentuk dari suatu material struktur yang diakibatkan adanya gaya yang menarik atau menekan suatu material struktur itulah yang dapat disebut dengan regangan. Sama halnya dengan tegangan, menurut Marciniak dkk. (2002) regangan dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu *engineering strain* dan *true strain*.

*Engineering strain* dapat didefinisikan sebagai panjang perubahan yang dialami suatu material dibagi dengan panjang asli suatu material. Sehingga *engineering strain* dapat dirumuskan dengan :

$$\epsilon_e = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.3)$$

Dimana :

$\epsilon_e$  = *engineering strain*

$l_0$  = panjang awal

$l$  = panjang setelah diberi gaya

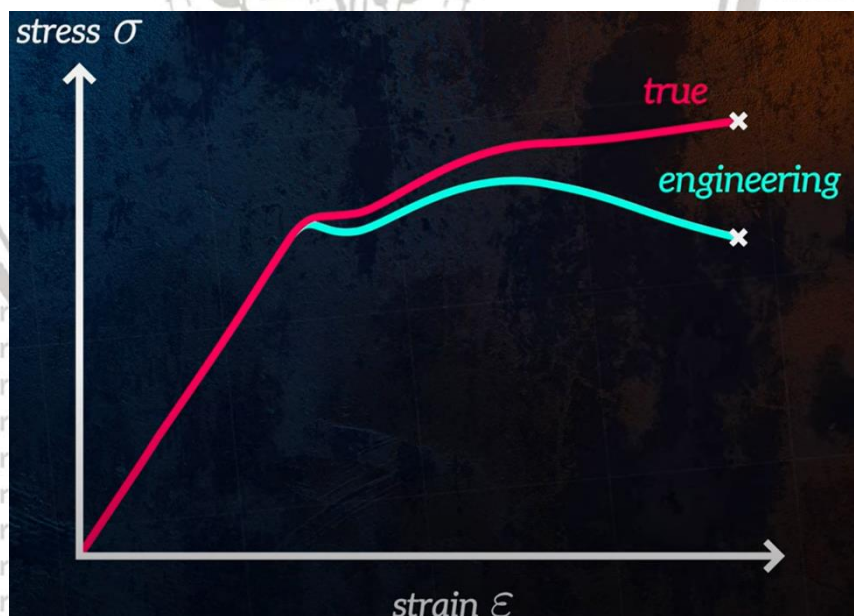
$\Delta l$  = perubahan panjang

Sedangkan *true strain* merupakan regangan yang dihitung pada saat kondisi aktual dari suatu material sehingga perhitungan regangan dilakukan secara bertahap (*increment strain*). Sehingga *true strain* dapat dirumuskan dengan :

$$\epsilon_t = \int d\epsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} \quad (2.4)$$

Untuk regangan yang sangat kecil yang dimana panjang awal dan panjang akhir dari suatu material tidak terlalu berbeda jauh, *true strain* bisa dikatakan sangat mirip dengan *engineering strain*, akan tetapi untuk regangan yang besar *engineering strain* dan *true strain* hasilnya akan sangat jauh berbeda.

## 2.5 Grafik Hubungan *Engineering Stress – Strain* dan *True Stress – Strain*



Gambar 2.12 Grafik Hubungan *Engineering Stress – Strain* dan *True Stress – Strain*

Ada alasan mengapa pada saat melakukan perhitungan tegangan – regangan, *engineer* lebih sering menggunakan *engineering stress – strain* yaitu :



- Sulit melakukan perhitungan tegangan dan regangan secara terus menerus mengikuti kondisi aktual dari suatu material.
- Biasanya perhitungan analisis maupun desain hanya sampai pada batas elastis yang dimana pada *engineering strain* dan *true strain* pada grafik diatas hasilnya tidak terlalu jauh berbeda.

Untuk melakukan analisis hingga kondisi plastis, maka harus menggunakan *true stress* dan *strain* dikarenakan adanya perbedaan yang cukup besar setelah material melewati batas elastis.

## 2.6 Konversi *Engineering Stress – Strain* ke *True Stress – Strain*

*True stress* dapat didapatkan hasilnya dari konversi *engineering stress - strain* dengan langkah - langkah sebagai berikut :

- Dengan asumsi bahwa volume material adalah konstan (hanya bisa digunakan sebelum material tersebut mengalami tekuk)

$$AL = A_0 L_0 \quad (2.5)$$

Sehingga,

$$\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{FL}{A_0 L_0}$$

- $\epsilon_e = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1$

Sehingga,

$$\sigma_t = \frac{F}{A_0} (1 + \epsilon_e) \quad (2.6)$$

$$\sigma_t = \sigma_e (1 + \epsilon_e) \quad (2.7)$$

*True strain* juga dapat di konversi dari *engineering strain* dengan langkah langkah sebagai berikut :

- $\epsilon_t = \ln \frac{l}{l_0} \quad (2.8)$

- $\epsilon_e = \frac{l}{l_0} - 1 \quad (2.9)$

Sehingga,

- $\epsilon_t = \ln(1 + \epsilon_e) \quad (2.10)$

## 2.7 Elastisitas

Elastisitas adalah sifat dari suatu material untuk mengembalikan bentuk struktur tersebut menjadi bentuk semula atau awal setelah beban dihilangkan yang diakibatkan dari suatu material yang diberi beban sehingga mengalami perubahan bentuk. Jika suatu material struktur mengalami perubahan bentuk ke bentuk awal atau kembali secara sempurna maka disebut elastis sempurna, sedangkan jika material tidak sepenuhnya Kembali ke bentuk semula maka disebut elastis parsial. (S. Timoshenko dan Goddier, 1986).

Elastisitas ini sangat dipengaruhi oleh modulus elastisitas suatu benda, dimana modulus elastisitas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.11)$$

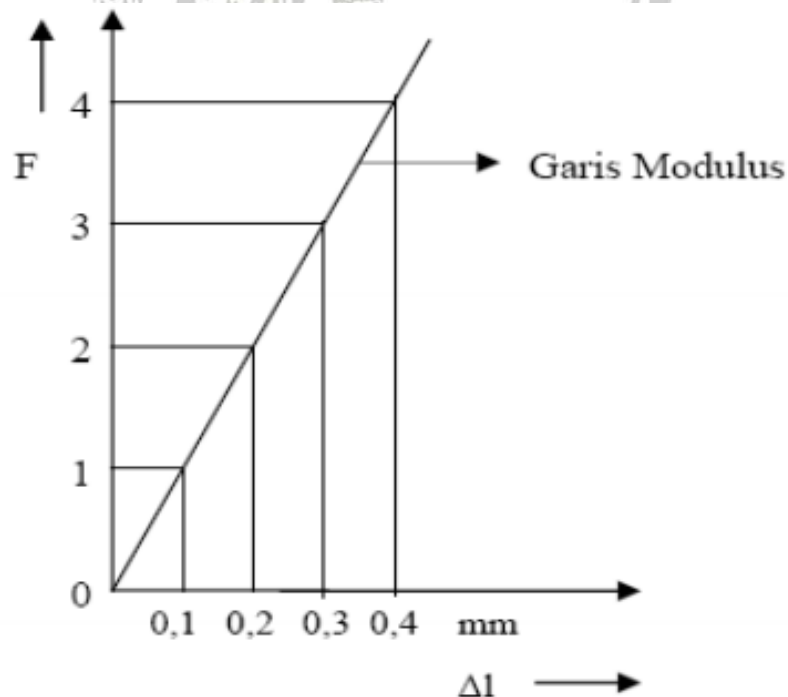
Dimana :

$E$  = Modulus elastisitas (MPa)

$\sigma$  = Tegangan (MPa)

$\varepsilon$  = Regangan

Beban yang diberikan kepada struktur akan berbanding lurus dengan perpanjangan dari struktur seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini,



Gambar 2.13 Garis Modulus



Jika garis modulus tersebut membuat garis dengan sudut yang besar terhadap sumbu horizontal, maka material struktur tersebut sangat kaku sehingga memiliki modulus elastisitas yang tinggi yang dapat disimpulkan bahwa material struktur tersebut tahan terhadap deformasi elastis.

## 2.8 Plastisitas

Plastisitas adalah sifat dari suatu material struktur yang mengalami perubahan bentuk akibat diberi gaya atau beban akan tetapi pada saat beban atau gaya tersebut dihilangkan bentuk dari material struktur tersebut tidak bisa kembali ke bentuk yang semula atau awal. Material struktur yang diberi beban hingga mencapai batas plastis biasanya digunakan untuk mengetahui *ultimate load* atau batas akhir dari suatu material menahan beban sebelum mengalami keruntuhan.

## 2.9 Kriteria Leleh

Kriteria leleh atau batas luluh atau *yield point* adalah batas dimana regangan akan meningkat meskipun tegangan yang diberikan pada material struktur tidak ada peningkatan (baja). Salah satu teori kriteria leleh ini adalah Von Mises.

### 2.9.1 Kriteria Von Mises

Teori ini pertama kali dicetuskan oleh M.T Huber (1904) yang kemudian dilanjutkan oleh R. Von Mises (1913) dan Hecky (1925). Von Mises (1913) menyatakan bahwa akan terjadi leleh bilamana invariant kedua deviator tegangan  $J_2$  melampaui harga kritis tertentu. Bisa disimpulkan bahwa luluh akan terjadi pada saat energi regangan geser dari material mencapai nilai kritis. Sehingga energi regangan geser atau energi distorsi adalah energi regangan total per unit volume yang terlibat

Perhitungan tegangan efektif Von Mises dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \leq f_y^2 \quad (2.12)$$

Dimana:

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  = Tegangan-tegangan utama (MPa)

$\sigma_e$  = Tegangan efektif (MPa)

$f_y$  = Tegangan leleh (MPa)

Jika nilai  $\sigma_3$  diabaikan dikarenakan hampir mendekati nol dikarenakan system struktur yang bekerja terletak di dua sumbu dan saling tegak lurus, maka perhitungan tegangan efektif menjadi :

$$\sigma_e^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2 \leq f_y^2 \quad (2.13)$$

Atau ditulis juga sebagai berikut:

$$\frac{\sigma_1^2}{f_y^2} + \frac{\sigma_2^2}{f_y^2} - \frac{\sigma_1\sigma_2}{f_y^2} \leq 1 \quad (2.14)$$

Titik leleh pada Von Mises untuk kondisi geser murni terjadi saat  $\sigma_2 = -\sigma_1$  dan tegangan geser  $\tau = \sigma_1$ , dilakukan substitusi  $\sigma_2 = -\sigma_1$  ke persamaan 2.15 maka didapatkan:

$$\sigma_e^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1(-\sigma_1) = 3\sigma_1^2 = 3\tau_y^2 = f_y^2 \quad (2.15)$$

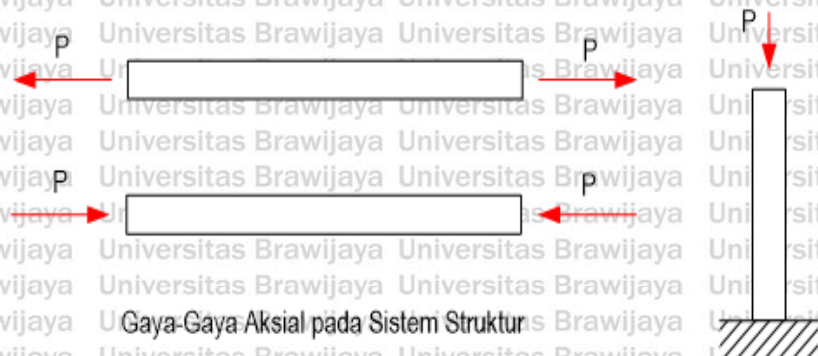
Sehingga diperoleh nilai:

$$\tau_y = \frac{1}{\sqrt{3}} f_y = 0,6 f_y \quad (2.16)$$

## 2.10 Perpindahan

Struktur bangunan yang dibuat sudah pasti akan dirancang perpindahan yang diinginkan dari struktur tersebut tergantung dari besarnya beban gempa atau lateral yang terjadi. Perpindahan yang dialami struktur sangat dipengaruhi oleh daktilitas dari suatu material struktur tersebut.

Perpindahan struktur terbagi menjadi dua yaitu perpindahan aksial dan perpindahan geser. Perpindahan aksial terjadi apabila gaya atau beban aksial bekerja pada pusat dari elemen struktur tersebut. Gaya tarik menyebabkan penambahan panjang pada elemen suatu struktur sedangkan gaya tekan menyebabkan pengurangan panjang dari elemen suatu struktur.

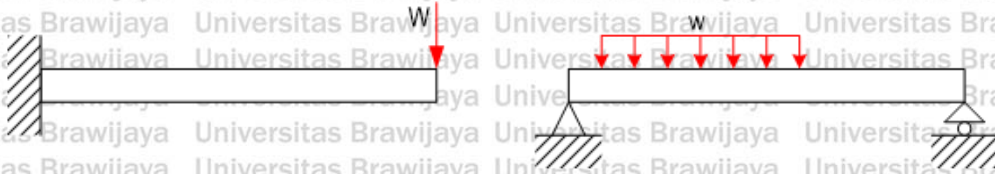


Gaya-Gaya Aksial pada Sistem Struktur

Gambar 2.14 Gaya – Gaya Aksial Pada Elemen Struktur



Perpindahan geser terjadi apabila gaya geser bekerja tegak lurus terhadap pusat dari elemen struktur dan gaya geser tersebut bisa berupa beban terpusat maupun beban merata.



Gaya-Gaya Geser pada Sistem Struktur

Gambar 2.15 Gaya Geser Pada Elemen Struktur

## 2.11 Gempa Bumi

Wilayah Indonesia terbagi menjadi enam wilayah gempa menurut SNI 03 – 1726 – 2002. Pembagian wilayah tersebut berdasarkan intensitas dan kekuatan *magnitude* gempa. Intensitas adalah tolak ukur apakah gempa yang terjadi di suatu wilayah memiliki skala kerusakan yang kecil atau tidak, sedangkan *magnitude* adalah besarnya regangan energi yang dilepaskan saat terjadinya gempa. Chen (2000) membandingkan hubungan *magnitude* dan intensitas gempa menurut Tabel 2.2.

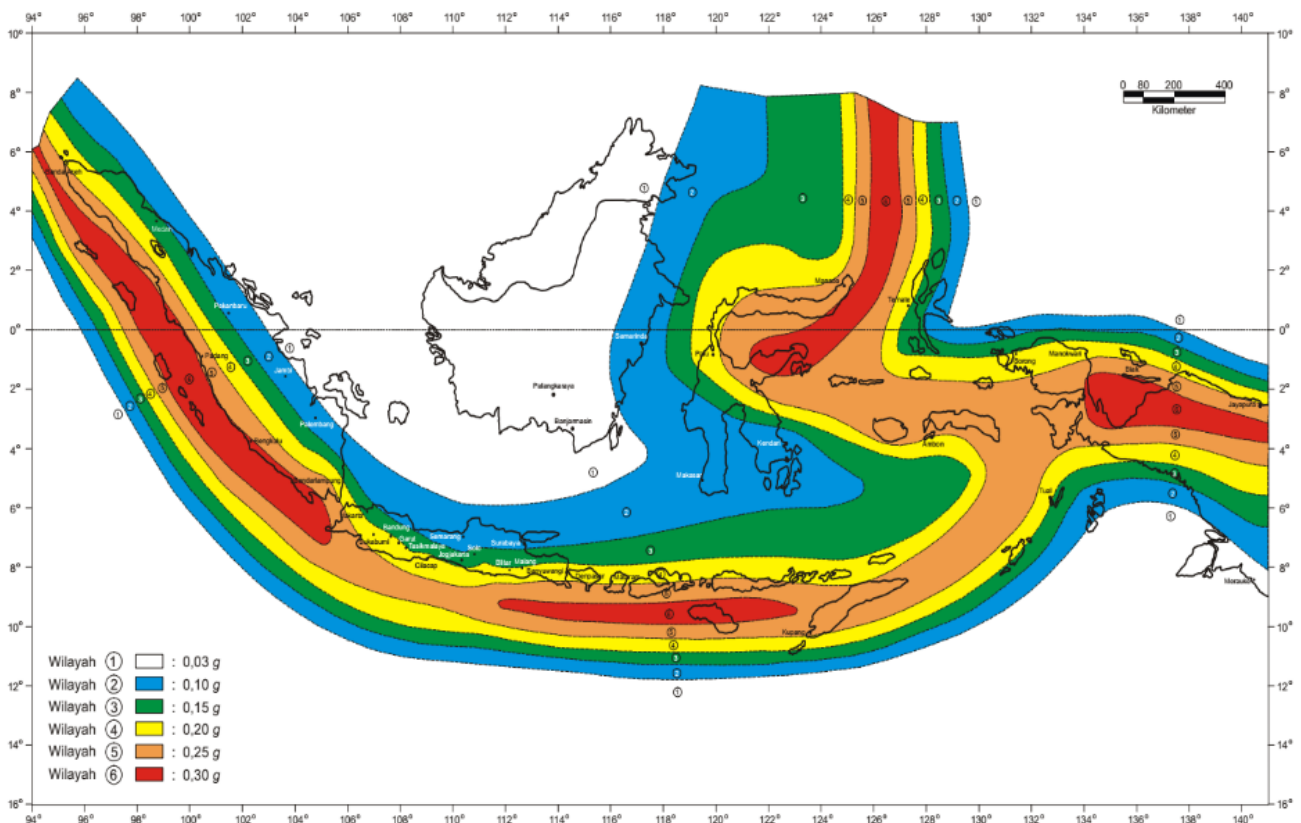
Tabel 2.2

Hubungan antara *Magnitude* – *Intensitas*

<i>Magnitude</i> (Richter)	Intensitas (MMI)	Pengaruh-pengaruh Tipikal
$\leq 2$	I-II	Pada umumnya tidak terasa.
3	III	Terasa di dalam rumah, tidak ada kerusakan.
4	IV-V	Terasa oleh banyak orang, barang-barang bergerak, tidak ada kerusakan struktural.
5	VI-VII	Terjadi beberapa kerusakan struktural, seperti retak-retak pada dinding.
6	VII-VIII	Kerusakan menengah, seperti hancurnya dinding.
7	IX-X	Kerusakan besar, seperti runtuhnya bangunan.
$\geq 8$	XI-XII	Rusak total atau hancur total.

Pembagian wilayah zona gempa juga terpengaruh atas gempa rencana dengan waktu periodik ulang sebesar 2500 tahun untuk bangunan gedung dan non gedung dan 500 atau 1000 tahun untuk struktur jembatan. Selain itu pembagian wilayah

menurut SNI 03 – 1726 – 2002 juga tergantung dari percepatan puncak batuan dasar dan juga apakah didaerah yang dibangun suatu struktur apakah memiliki jenis tanah yang keras, sedang, atau lunak. Wilayah gempa daerah satu merupakan wilayah yang memiliki tingkat resiko gempa yang rendah dan sebaliknya wilayah enam merupakan wilayah yang memiliki tingkat resiko gempa yang tinggi.



Gambar 2.16 Wilayah Gempa Indonesia (SNI 03 – 1726 – 2002 )

## 2.12 Analisis Gaya Lateral

Gaya lateral akibat gempa bumi yang diterima oleh struktur portal dapat dihitung dengan dua analisis yaitu analisis statik ekuivalen dan analisis dinamis.

Permodelan getaran gempa yang menjadi beban horisontal statik pada pusat massa bangunan merupakan metode analisis statik ekuivalen, sedangkan analisis dinamis adalah permodelan getaran gempa yang menjadi beban dinamis yang dapat diartikan beban tersebut dapat berubah setiap waktu baik arah maupun besarnya. Respon spektrum merupakan salah satu contoh analisis dinamis. Sehingga respon spektrum cocok digunakan pada analisis beban gempa dengan cara struktur portal diberi percepatan pada di permukaan tanah sesuai dengan desain respon spektrum di suatu wilayah yang dibangun struktur.



### 2.13 Analisis Statis Ekuivalen

Salah satu analisis statis yang digunakan untuk menganalisis beban gempa adalah *pushover analysis*. *Pushover analysis* ini adalah analisis statik yang dimana pengaruh gempa rencana yang diterima oleh struktur bangunan dianggap sebagai beban statik pada pusat massa bangunan atau masing – masing lantai yang besarnya beban statik. Setelah itu beban statik tersebut ditingkatkan secara bertahap hingga suatu struktur tersebut mengalami leleh di satu titik atau lebih dari suatu bangunan struktur tersebut. Metode ini data menghasilkan kurva kapasitas yang memperlihatkan kondisi linier disaat sebelum mencapai kondisi leleh dan kondisi non – linier saat setelah mengalami leleh. Pola distribusi gaya lateral yang dianggap sebagai beban statik inilah yang akan mempengaruhi kurva kapasitas tersebut.

### 2.14 Load Application Control

Untuk melakukan analisis *pushover*, diperlukan prosedur *load application control*. *Load application control* terbagi menjadi dua bentuk yaitu *load control* dan juga *displacement control*.

#### 1. Load Control

Jika sudah diketahui besaran dari suatu beban atau gaya yang akan ditahan struktur, maka *load control* bisa digunakan. *Load control* digunakan jika pembesaran beban yang diberikan kepada struktur diperkirakan dapat menahan beban tersebut (Parung, Amirudding, dan Nurdianti, 2013).

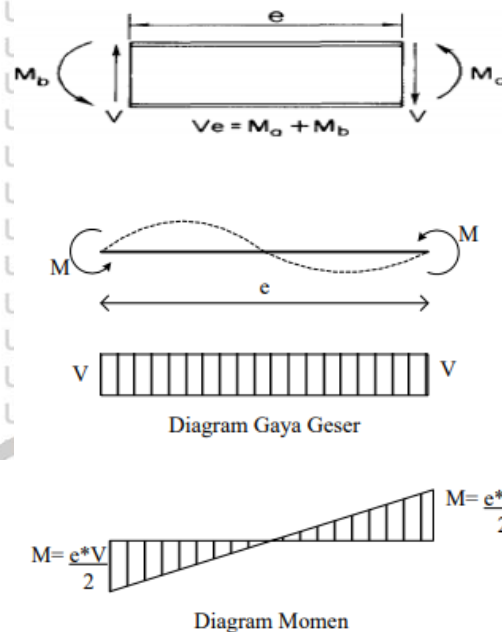
#### 2. Displacement Control

*Displacement control* digunakan jika beban atau gaya yang akan ditahan oleh struktur tidak diketahui besarannya. *Displacement control* biasanya digunakan untuk mengontrol jika struktur diberi beban atau gaya apakah simpangan yang terjadi di struktur dan bebannya terus ditingkatkan hingga mencapai simpangan target.

### 2.15 Link Beam

Saat suatu portal maupun struktur menggunakan sistem pengaku EBF (*Eccentrically Braced Frame*) maka pasti ada elemen balok yang direncanakan mengalami kegagalan terlebih dahulu yang disebut *link beam*. Dikarenakan pada bagian *link beam* di kedua ujung sisinya bekerja gaya geser yang besar yang sama tetapi arah yang berlawanan sehingga mengakibatkan momen pada kedua ujung *link*

*beam* memiliki besar serta arah yang sama. *Link beam* berperan untuk mendisipasi energi dan membatasi gaya terhadap *bracing*, kolom dan balok diluar *link*



Gambar 2.17 Gaya – Gaya yang Bekerja Pada Link Beam

Sumber :Engelhart and Popov, 1988 ; Becker and M. Isler, 1996

Karena fungsi elemen balok *link* tersebut maka *link beam* tidak boleh terjadi tekuk elastik dan inelastik sebelum mencapai kapasitas rotasi sendi tercapai sehingga penampang *link beam*, sehingga harus digunakan untuk memenuhi modulus elastisitas ( $E$ ) dan mutu baja ( $f_y$ ) sesuai peraturan yang berlaku. Sudut rotasi *link beam* merupakan sudut antara balok *link beam* dan balok diluar *link* dimana total simpangan sama dengan total simpangan desain ( $\Delta$ ). Sudut rotasi *link beam* memiliki beberapa persyaratan antara lain :

1. 0,08 radian untuk *link* yang panjangnya  $\leq 1,6 \frac{M_p}{V_p}$
2. 0,02 radian untuk *link* yang panjangnya  $\geq 2,6 \frac{M_p}{V_p}$
3. Untuk *link* dengan panjang diantara  $1,6 \frac{M_p}{V_p}$  dan  $2,6 \frac{M_p}{V_p}$  ditentukan dengan cara interpolasi linier.

Sudut rotasi *link* juga dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$\gamma_p = \frac{L}{e} \theta_p \quad (2.17)$$



Keterangan :

$L$  = Lebar bantang

$h$  = Tinggi lantai

$\theta_p$  = *Plastic story drift angle*

Kekuatan geser dan lentur yang terdapat pada elemen *link beam* dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$M_p = Z_x \cdot f_y \quad (2.18)$$

$$V_p = 0,6f_y \cdot A_w \quad (2.19)$$

$$A_w = t_w \cdot (h - 2t_f) = t_w \cdot h_w \quad (2.20)$$

Keterangan :

$M_p$  = Momen plastis penampang

$Z_x$  = Modulus plastis penampang

$f_y$  = Tegangan leleh

$V_p$  = Kapasitas geser plastis penampang

$A_w$  = Luas efektif *web*

$t_w$  = Tebal *web*

$h$  = Tinggi profil

$t_f$  = Tebal *flange*

$h_w$  = Tinggi *web*

Semakin pendek eksentrisitas dari *link beam*, maka pengaruh gaya geser terhadap perilaku inelastik akan semakin besar sehingga kelelahan geser akan terjadi seragam di sepanjang *link beam*. Klasifikasi *link* dibedakan menjadi empat jenis menurut peraturan AISC, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (AISC, 2005) yaitu :

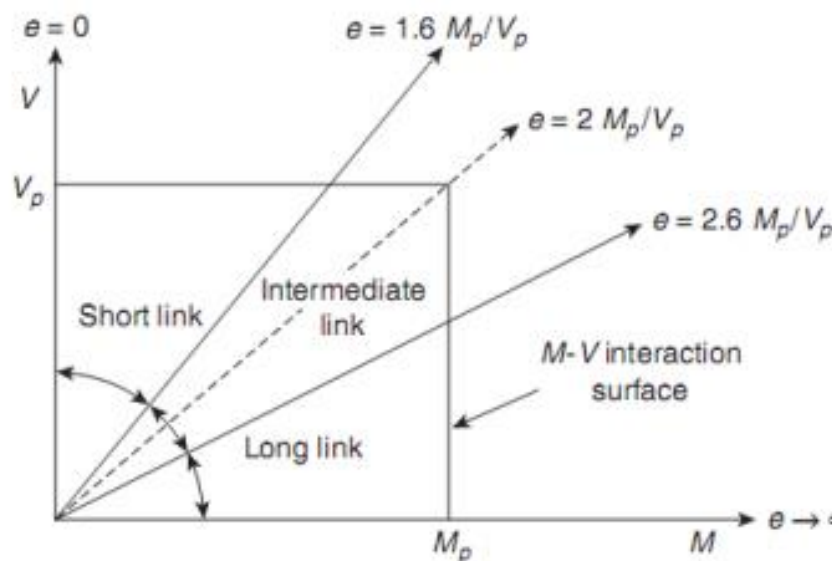
1. Link geser murni,  $e \leq 1,6 \frac{M_p}{V_p}$

2. Link dominan geser,  $1,6 \frac{M_p}{V_p} \leq e \leq 2,6 \frac{M_p}{V_p}$

3. Link dominan lentur,  $2,6 \frac{M_p}{V_p} \leq e \leq 5 \frac{M_p}{V_p}$

4. Link dominan murni,  $e \geq 5 \frac{M_p}{V_p}$

Sedangkan klasifikasi panjang *link beam* menurut SNI 03 – 1729 – 2002 dibagi kedalam tiga yaitu *short link*, *intermediate link*, *long link*. Kriteria tersebut terbagi berdasarkan normalisasi panjang link yang didapatkan dari hasil bagi antara kapasitas momen plastis ( $M_p$ ) dan kapasitas geser plastis ( $V_p$ ).



Gambar 2.18 Grafik Klasifikasi Link

Berdasarkan grafik diatas, dapat disimpulkan *link* dengan rasio kurang dari 1,6 dikategorikan menjadi *short link*, *link* dengan rasio diantara 1,6 – 2,6 dapat dikategorikan menjadi *intermediate link*, dan *link* dengan rasio lebih dari 2,6 dikategorikan menjadi *long link*. *Short link* biasanya sering digunakan dikarenakan sifat daktilitas, kekakuan dan kekuatan yang lebih baik daripada *intermediate* dan *long link*. Sedangkan untuk *long link* biasanya digunakan untuk kebutuhan arsitektur dikarenakan dapat memberi ruang di bawah balok *link* lebih luas. Semakin pendek panjang *link* ( $e$ ) maka sifat strukturnya akan mendekati dengan struktur portal *Centrically Braced Frame* (CBF), sedangkan semakin lebar panjang *link* ( $e$ ) maka struktur portal tersebut sifat strukturnya akan mendekati struktur portal *Moment Resisting Frames* (MRF).



### 2.16 Software ABAQUS Student Edition

ABAQUS merupakan *software* yang menawarkan program yang dapat melakukan permodelan dan analisis. ABAQUS dapat mendesain model yang material dari suatu strukturnya dapat di *input* kedalam *software* ABAQUS. *Software* ABAQUS biasanya digunakan untuk melakukan riset dikarenakan *software* ABAQUS menawarkan menu yang lengkap untuk *input part* modulnya. Data material struktur juga dapat dimasukkan secara manual ke dalam menu *input file*. Pengembangan bahasa program dalam ABAQUS membuat para desainer lebih mudah dalam menentukan metode yang digunakan untuk melakukan proses simulasi dan analisis (ABAQUS CAE User Manual, 2003). Analisis menggunakan ABAQUS Student Edition terbagi menjadi tiga tahap antara lain :

1. Proses awal (*Preprocessing*).

Pada proses awal untuk melakukan analisis menggunakan ABAQUS versi 6.14-1 dapat membuat penggambaran modelnya. Penggambaran model dapat dilakukan dengan memasukkan koordinat sistem yang akan dibuat. Setelah melakukan penggambaran permodelan, dilakukan *input* material struktur ke dalam ABAQUS dan juga harus diperhatikan satuan yang digunakan dalam penginputan data dikarenakan didalam *software* ABAQUS tidak mencantumkan satuan dalam hasil analisis maupun saat penginputan data oleh karena itu satuan yang digunakan harus konsisten dari awal hingga akhir.

2. Simulasi (*Simulation*).

Merupakan tahap dimana *software* ABAQUS memulai proses pemecahan masalah numerik yang ada didalam pemodelan struktur.

3. Proses akhir (*Postprocessing*).

Proses ini merupakan tahapan dimana dapat mengambil kesimpulan dan data – data seperti perpindahan yang dialami struktur, momen akibat beban yang dialami struktur dan sebagainya.

Dengan mengikuti tahapan diatas maka *software* ABAQUS Student Edition dapat menganalisis secara tepat dan cepat. *Software* ABAQUS juga dapat menampilkan sebuah grafik yang dapat berupa diagram *liner – non linier* secara lengkap.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)





## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

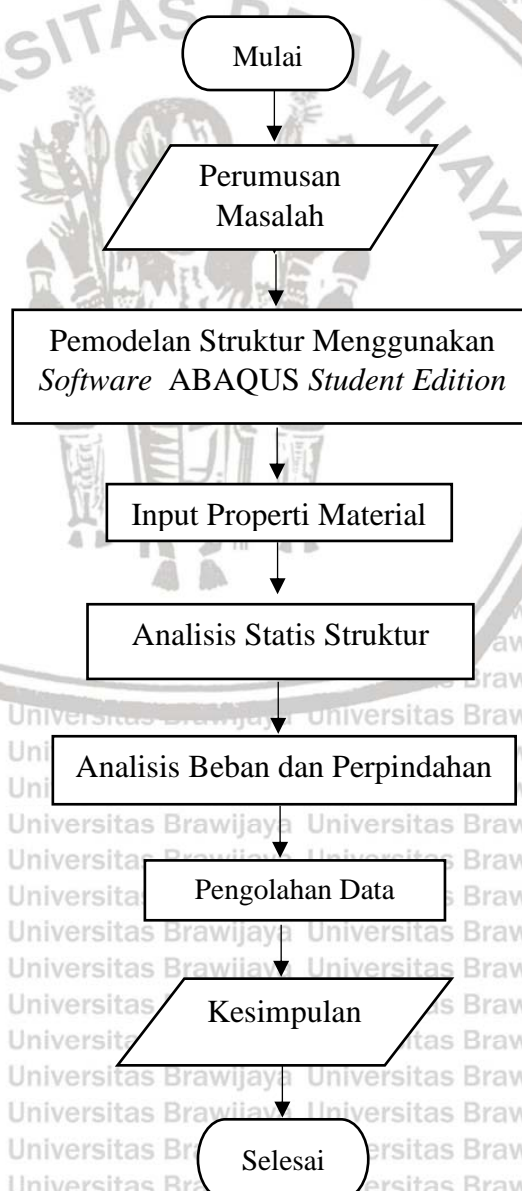
### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang yang dilakukan pada bulan November 2020.

### 3.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini dengan menggunakan *software* ABAQUS Student Edition..

### 3.3 Tahapan Penelitian



### 3.4 Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah termasuk penelitian eksperimental yang dimana untuk mengetahui hubungan dari masing – masing variabel Penelitian ini menggunakan portal baja sederhana dengan dimensi 4m x 4m. Elemen struktur antara lain balok, kolom dan *bracing*. Baja yang digunakan pada penelitian kali ini untuk elemen kolom adalah baja dengan mutu BJ 37 dengan tipe *wide flange shapes* ukuran 300.200.8.12. Untuk elemen balok *link* menggunakan baja mutu BJ 37 dengan tipe *wide flange shapes* ukuran 200.150.6.9 dan untuk *bracing* akan menggunakan baja dengan mutu BJ 37 dengan tipe *wide flange shapes* ukuran 100.100.6.8. Semua data dari masing masing baja tersebut akan menggunakan Tabel Morisco. Selain itu pembebanan yang diberikan pada portal baja sederhana hanya beban lateral saja.

*Bracing* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Inverted V* dengan masing – masing eksentrisitasnya bervariasi yang dengan ukuran eksentrisitasnya 0 cm, 60 cm (*short link*), 120 cm (*long link*). Selain itu *meshing* yang akan digunakan pada penelitian kali ini tiap model ada dua *meshing*, yaitu *number of elements* 4 dan 25.

### 3.5 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ada dua antara lain sebagai berikut :

1. Variabel bebas yaitu variabel yang dapat ditentukan sendiri dan yang akan menjadi variabel bebas pada penelitian ini adalah ukuran profil baja, mutu baja, tipe baja, beban lateral dan juga jarak eksentrisitas *bracing*.
2. Variabel terikat yaitu variabel yang hasilnya tergantung dari variabel bebas dan yang akan menjadi variabel terikat pada penelitian ini adalah perilaku beban, perpindahan struktur, momen maksimum.

### 3.6 Pemodelan dengan Software ABAQUS Student Edition

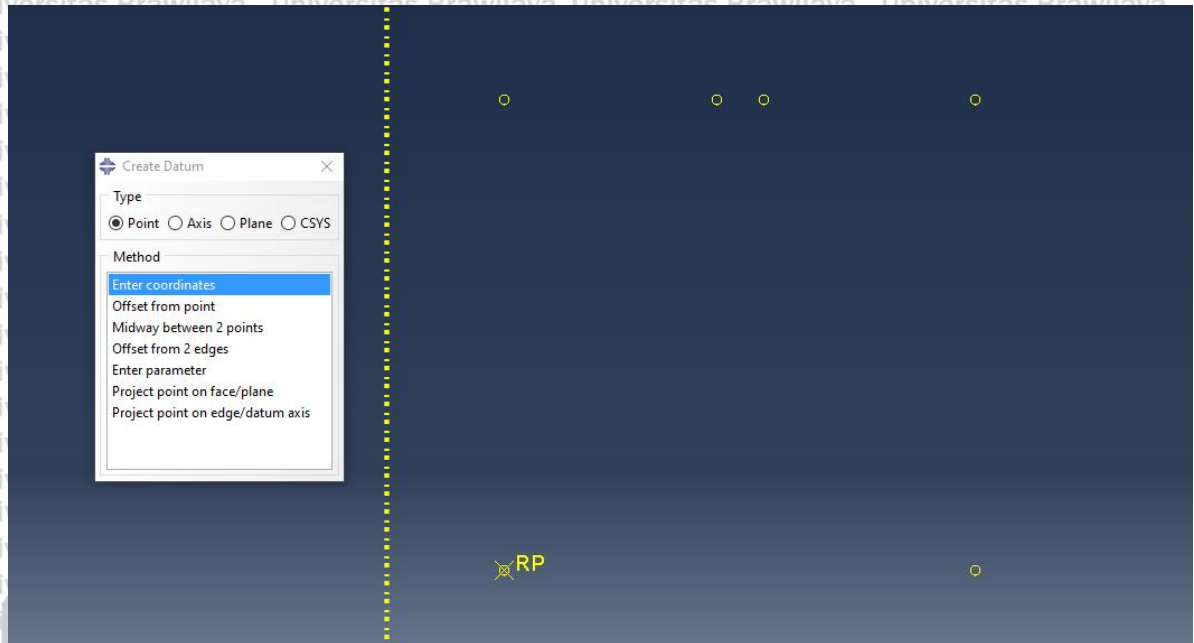
Pemodelan benda uji yang berupa struktur portal baja eksentris dengan menggunakan software ABAQUS Student Edition dengan langkah sebagai berikut:

#### 1. Create Part

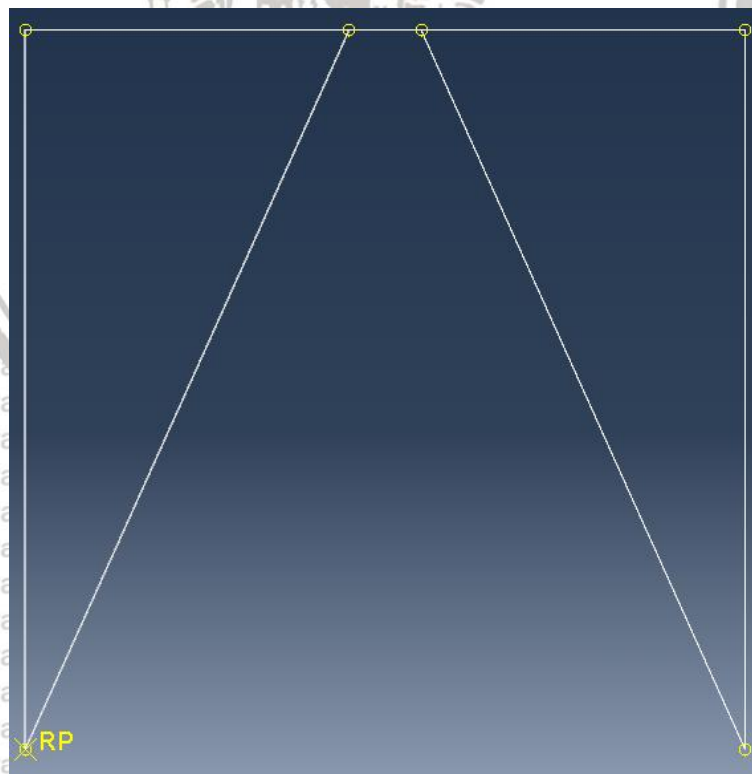
Sebelum melakukan permodelan benda uji pastikan bahwa satuan yang kita gunakan dalam setiap *input* data selalu sama dikarenakan software ABAQUS 1



*Student Edition* tidak mencantumkan satuan dalam hasil analisis. Dalam penelitian ini menggunakan satuan N (newton) untuk beban dan satuan m (meter) untuk panjang. Untuk permodelan benda uji menggunakan sistem koordinat



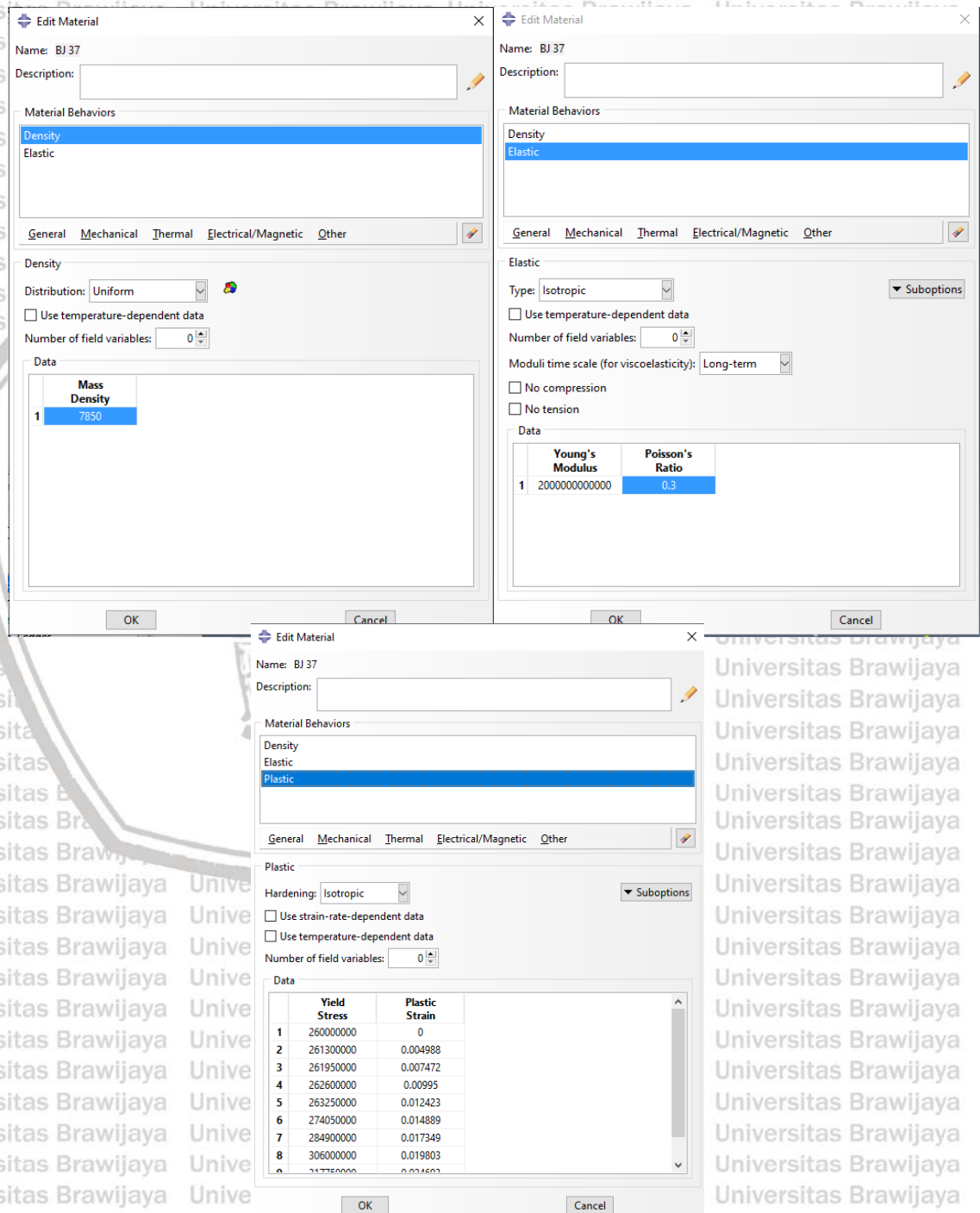
Gambar 3.1 Input Koordinat di Software ABAQUS Student Edition



Gambar 3.2 Penggabungan Koordinat Membentuk Portal Bracing Eksentris tipe Inverted V

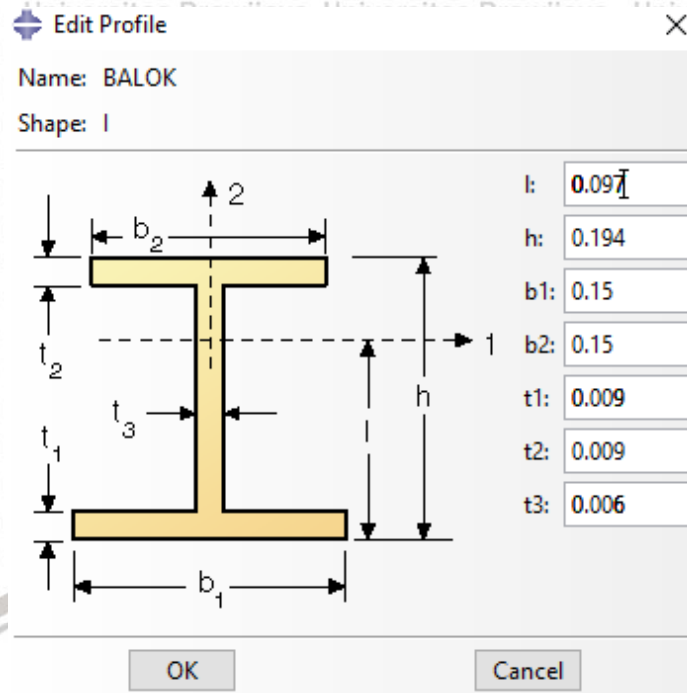
## 2. Input Data

Setelah struktur portal berhasil diinput di *software ABAQUS Student Edition*, langkah selanjutnya yaitu memasukkan data berupa mutu baja, *true stress*, *true strain*, *orientation*, *section assignmerti*, tipe baja, dan ukuran profil baja yang digunakan.

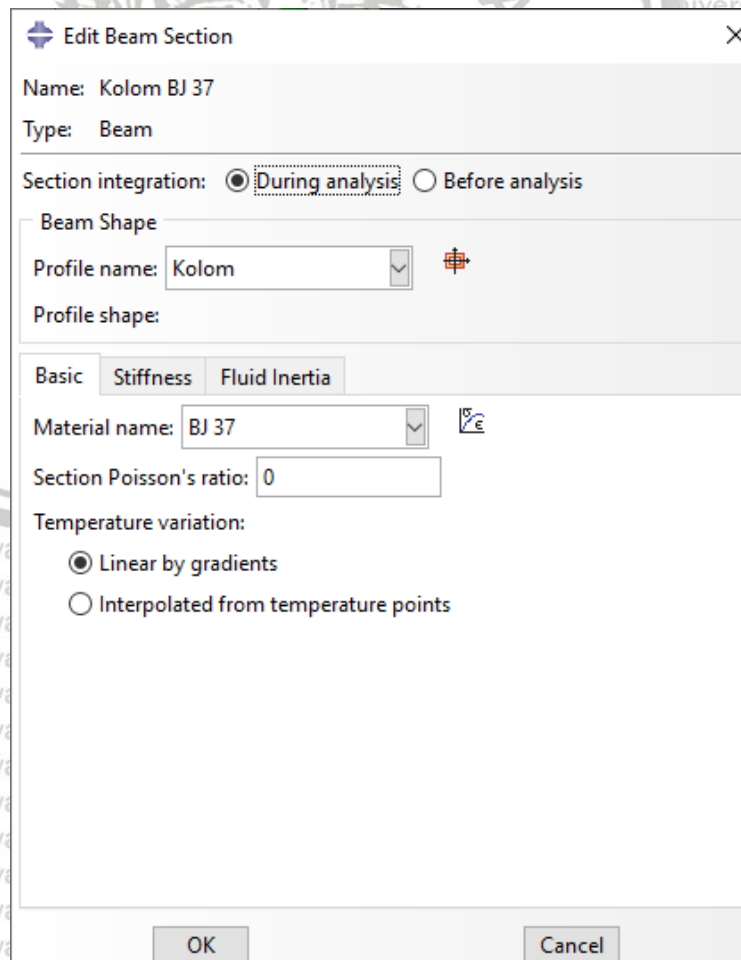


Gambar 3.3 Input Data Mutu Baja

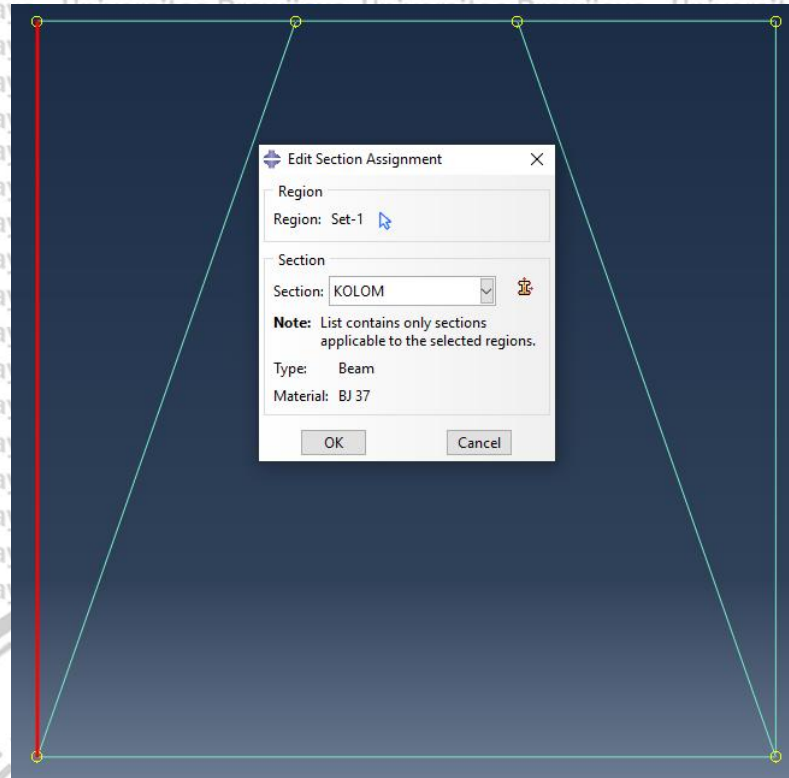




Gambar 3.4 Input Dimensi Profil Baja



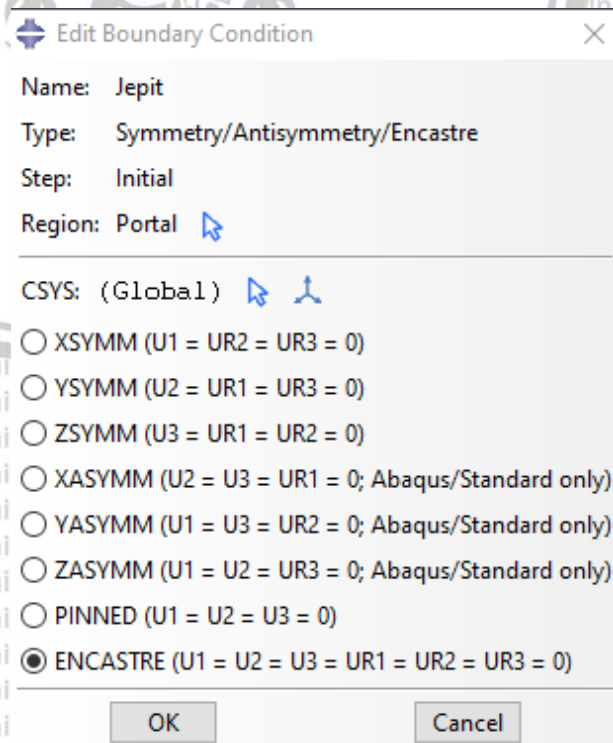
Gambar 3.5 Input Data Mutu Baja ke Profil Baja



Gambar 3.6 Input Profil Baja ke Model Struktur

### 3. Input Tumpuan

Pada analisis ini telah ditetapkan bahwa tumpuan pada struktur portal adalah jepit – jepit.

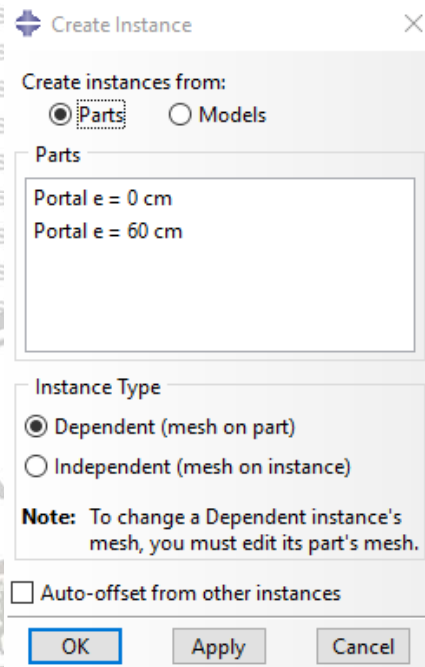


Gambar 3.7 Input Tumpuan



#### 4. Assembly

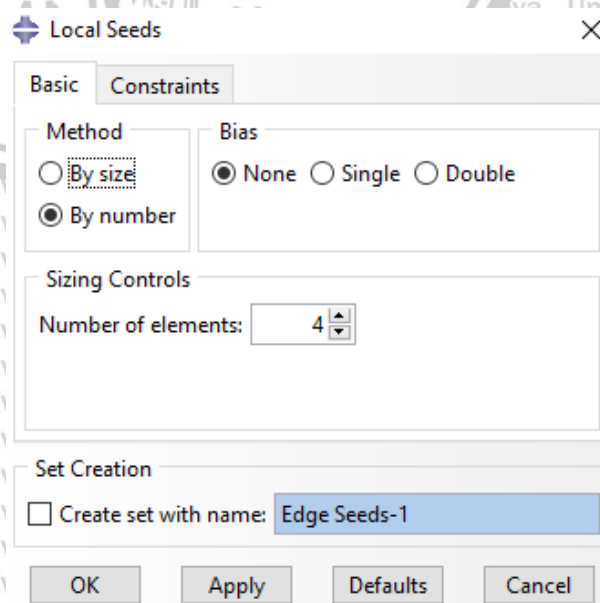
Langkah ini merupakan bagian untuk menggabungkan *part* – *path* yang telah diinput menjadi satu kesatuan.



Gambar 3.8 Perintah Assembly

#### 5. Meshing

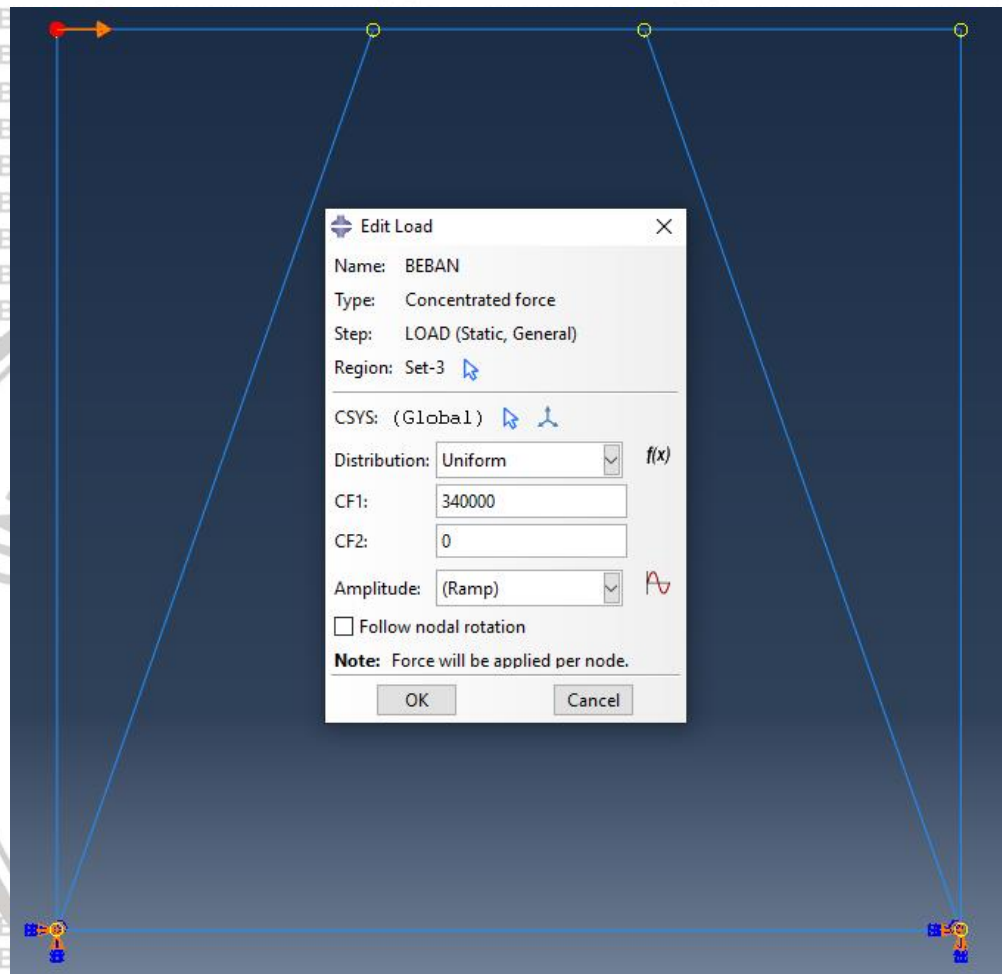
Langkah ini dilakukan untuk membuat suatu struktur portal terbagi menjadi ke dalam beberapa *node* dan elemen. Semakin rapat suatu *mesh*, maka hasil yang didapatkan akan semakin akurat akan tetapi akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menampilkan data.



Gambar 3.9 Perintah Meshing

## 6. Input Beban Sendiri dan Beban Lateral

Tahap ini merupakan langkah terakhir sebelum *software* ABAQUS *Student Edition* dapat menampilkan *output* yang diinginkan. Berat sendiri dimasukkan kedalam *software* ABAQUS *Student Edition* sesuai ketentuan tabel Morisco. Kemudaaian beban lateral atau gempa dimasukkan dan diberikan ke struktur portal tersebut untuk dianalisis secara statis.



Gambar 3.10 Memberi Beban Lateral ke Stuktur Portal

## 7. Output

Dalam penelitian ini *output* yang ingin ditampilkan berupa perpindahan, reaksi tumpuan.

## 8. Kesimpulan

Di tahap ini merupakan perbandingan dari ketiga portal dengan variasi jarak eksentris dan kerapatan *meshing*, maka dapat dilakukan pengambilan kesimpulan akhir apakah sesuai hipotesa atau tidak.



### 3.7 Hipotesis Penelitian

1. Semakin kecil eksentrisitas suatu *bracing*, maka struktur portal tersebut akan memiliki daktilitas yang tinggi.
2. Semakin kecil eksentrisitas suatu *bracing*, maka struktur portal tersebut akan memiliki perpindahan yang kecil.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)





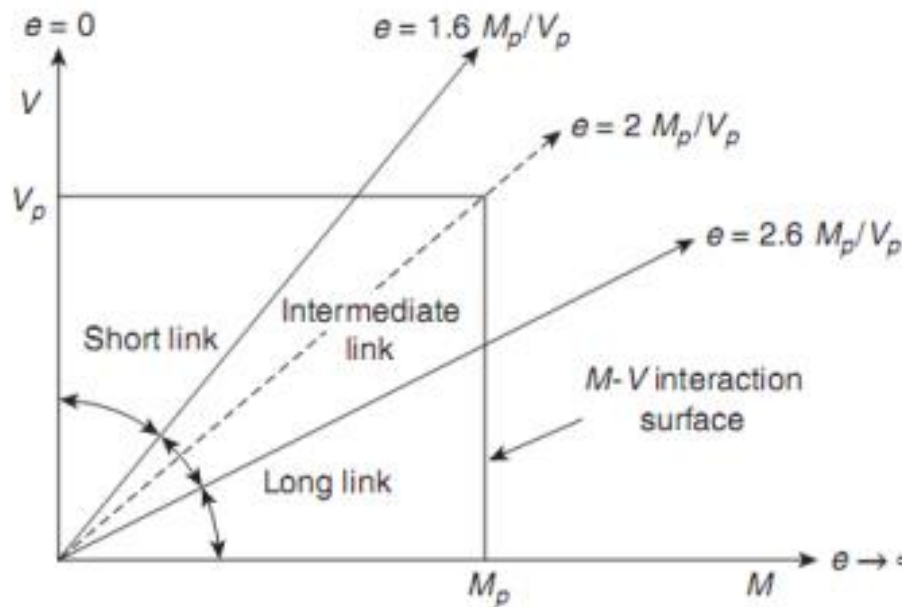
## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Pemodelan Struktur Portal *Bracing Inverted V* 2D

Struktur portal yang akan di analisis pada penelitian kali ini ada tiga model yang berdasarkan panjang dari *link beam* dan juga besaran *meshing*. Ketiga model tersebut antara lain struktur portal konsentris (*Concentrically Based Framed*), *short link*, dan *long link*. Variabel tersebut untuk mengetahui kekuatan maksimal portal menahan beban lateral atau gempa. Pemodelan struktur portal menggunakan dengan *software* ABAQUS CAE *Student Edition* dua dimensi.

#### 4.1.1 Gambaran Umum

Struktur portal *bracing Inverted V* yang akan dianalisis kali ini akan menggunakan profil baja dengan mutu BJ 37. Struktur portal baja yang akan dianalisis memiliki tinggi 4m dan lebar 4m. Pemodelan pertama yang digunakan adalah dengan eksentrisitas 0 cm atau yang sering disebut *bracing* konsentris. Kemudian untuk pemodelan kedua menggunakan jarak eksentrisitas 60 cm (*short link*) dan pemodelan terakhir menggunakan jarak eksentrisitas 120 cm (*long link*). Hasil jarak eksentrisitas tersebut didasari oleh grafik klasifikasi *link*.



Gambar 4.1 Grafik Klasifikasi Link

Daerah yang akan dibuat *link beam* menggunakan dimensi profil WF 200x150x6x9, maka perhitungan jarak perhitungan eksentrisitas menggunakan profil tersebut yang data – datanya didapat dari tabel Morisco dengan perhitungan sebagai berikut :

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$M_p = f_y \times Z_x$$

$$= 240 \times 277 \times 10^3$$

$$= 66.480.000 \text{ Nmm}$$

$$A_w = t_w \cdot (h - 2t_f)$$

$$= 6 \times (194 - 2 \times 9)$$

$$= 1056 \text{ mm}^2$$

$$V_p = 0,6 \times f_y \times A_w$$

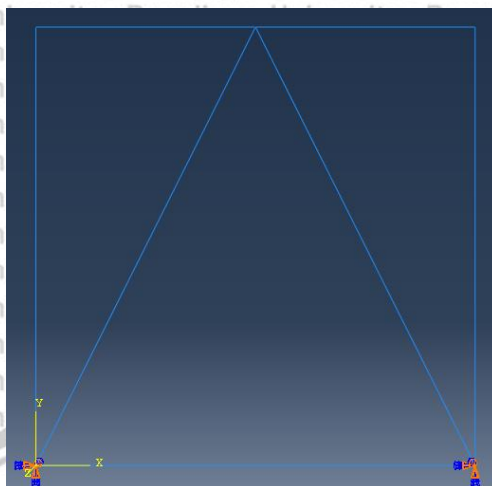
$$= 0,6 \times 240 \times 1056$$

$$= 152.064 \text{ N}$$

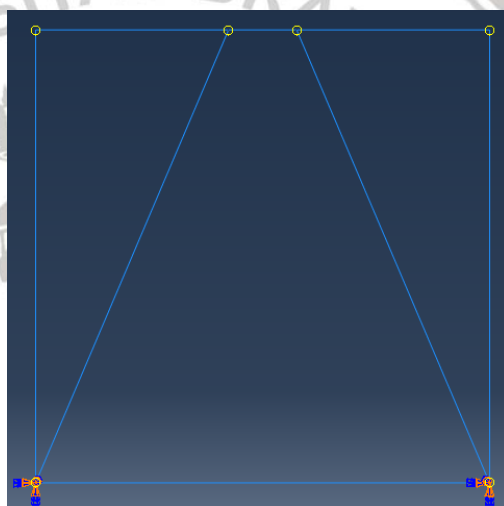
Berdasarkan grafik klasifikasi *link*, maka untuk memenuhi klasifikasi *short link* maka jarak eksentrisitas dari struktur portal baja harus kurang dari  $1,6 \frac{M_p}{V_p}$  atau harus kurang dari 69,95 cm dan untuk memenuhi klasifikasi *long link* jarak eksentrisitas dari struktur portal baja harus lebih dari  $2,6 \frac{M_p}{V_p}$  atau harus lebih dari 113,67 cm. Sehingga pada penelitian analisis kali ini portal baja untuk *short link* digunakan jarak eksentrisitas sebesar 60 cm dan untuk *long link* digunakan jarak eksentrisitas 120 cm.

Masing – masing dari setiap model dilakukan dengan analisis *by number* sebesar empat *meshing* (*meshing* besar) dan juga 25 *meshing* (*meshing* kecil). Variabel tersebut dilakukan untuk mengetahui perbedaan hasil momen dan perpindahan dari masing – masing struktur portal baja. Ketiga permodelan struktur portal baja menggunakan tumpuan jepit – jepit yang diasumsikan sebagai pondasi. Berikut adalah ketiga pemodelan struktur portal baja yang dianalisis menggunakan *software* ABAQUS CAE.

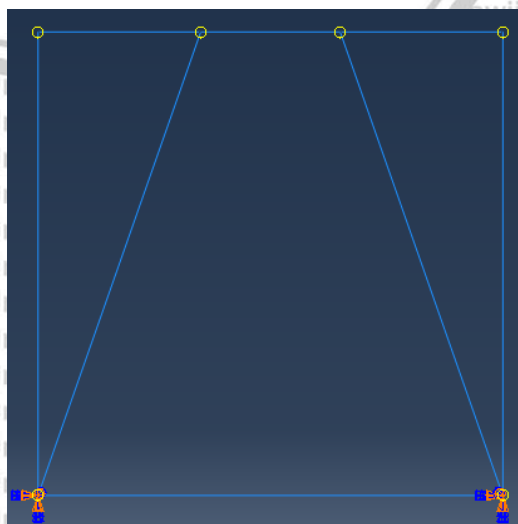




Gambar 4.2 Model Portal Bracing Inverted V Eksentrisitas 0 cm



Gambar 4.3 Model Portal Bracing Inverted V Eksentrisitas 60 cm



Gambar 4.4 Model Portal Bracing Inverted V Eksentrisitas 120 cm

#### 4.1.2 Spesifikasi Material

Dimensi profil baja yang digunakan pada analisis kali ini menggunakan profil baja sesuai dengan Tabel Profil Konstruksi Baja Ir. Morisco dengan dimensi dan bentuk profil baja sebagai berikut :

Tabel 4.1

Spesifikasi Material

No	Bagian Struktur	Dimensi Profil
1	Kolom	WF 300x200x8x12
2	Balok	WF 200x150x6x9
3	Bracing	WF 100x100x6x8

Dimensi dan profil baja yang digunakan pada analisis kali ini menggunakan mutu baja BJ 37. Untuk nilai *true stress* dan *true strain* didapatkan dari hasil konversi *engineering stress* dan *engineering strain* yang didapatkan dari **Gambar 4.5**. Adapun sifat – sifat mekanis yang digunakan dan diinputkan pada *software* ABAQUS adalah sebagai berikut :

- *Density* : 7850 kg/m<sup>3</sup>
- *Modulus Elastisitas* : 2 x 10<sup>11</sup> Pa
- *Poisson Ratio* : 0,3
- Hasil konversi dari *engineering stress* dan *strain* ke *true stress* dan *strain*
  - Engineering stress* : 300 MPa
  - Engineering strain* : 0,02 meter
  - True strain* :  $\ln (1 + 0,02) = 0,019803$  meter
  - True stress* :  $\frac{300 \times \exp(0,019803)}{10^{-6}} = 306.000.000$  Pa

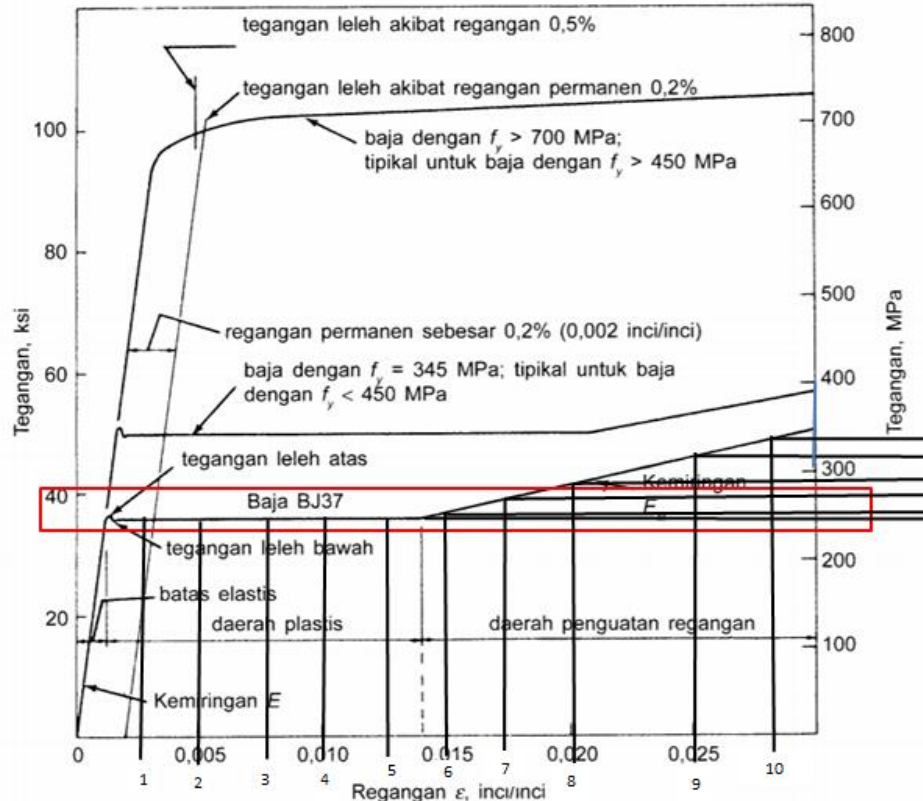
Tabel 4.2

Hasil Konversi *Engineering Stress – Strain* ke *True Stress - Strain*

No	Engineering Strain (m)	Engineering Stress (Mpa)	True Strain (m)	True Stress (Pa)
1	0.0025	260	0	260000000
2	0.005	260	0.004988	261300000
3	0.0075	260	0.007472	261950000
4	0.01	260	0.009950	262600000
5	0.0125	260	0.012423	263250000
6	0.015	270	0.014889	274050000
7	0.0175	280	0.017349	284900000



8	0.02	300	0.019803	306000000
9	0.025	310	0.024693	317750000
10	0.03	360	0.029559	370800000



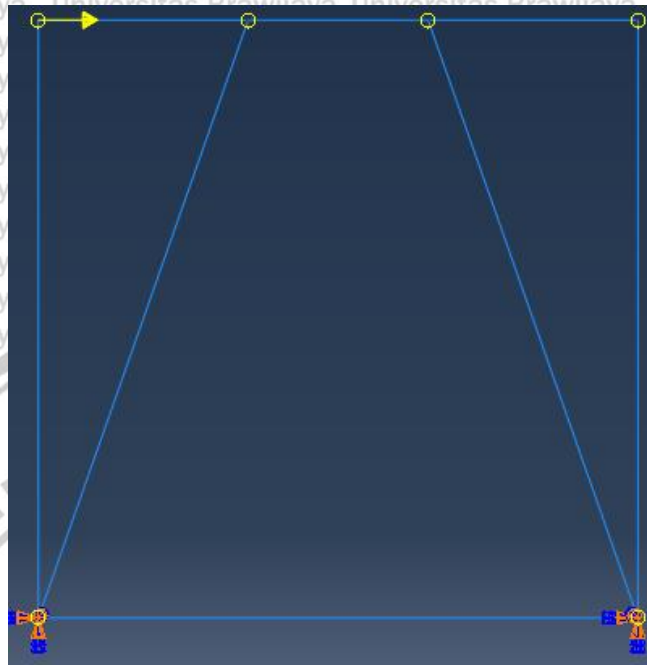
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan

#### 4.2 Analisis Pemodelan Struktur Portal *Bracing* Eksentris Tipe *Inverted V*

ABAQUS CAE digunakan pada penelitian kali ini dikarenakan *software* ini dapat memberikan hasil *output* yang lebih detail dan spesifik dibandingkan *software* lainnya dan biasanya *software* ini digunakan untuk penelitian dan riset.

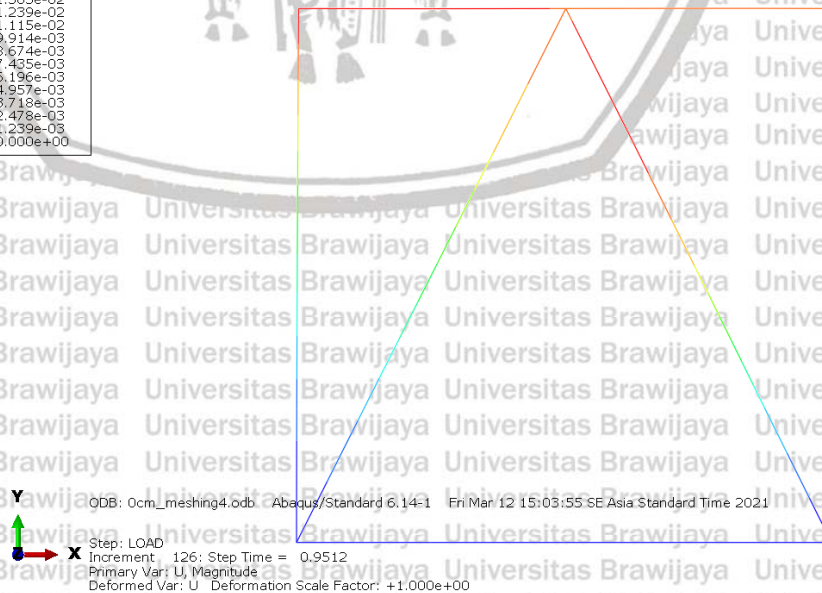
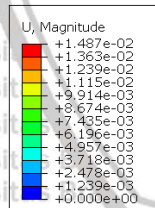
*Output* yang digunakan terbagi menjadi dua yaitu *field output* dan *history output*. *Field output* akan menampilkan pemodelan struktur portal yang sudah terbagi menjadi beberapa warna yang didasarkan dari seberapa kritis elemen tersebut. Elemen paling kritis dilambangkan dengan warna merah sedangkan elemen yang paling aman dilambangkan dengan warna biru tua. *History output* akan menampilkan hasil berupa grafik dan juga tabel. Pada analisis ini *software* disetting untuk menampilkan RF (*Reaction forces and moments*) dan juga U (*displacement*).

Sedangkan beban lateral atau horizontal akan diletakkan pada bagian kiri atas dari struktur portal tersebut seperti pada **Gambar 4.6**.



**Gambar 4.6** Peletakkan Beban Lateral pada Struktur Portal

Struktur portal kemudian dianalisis dan hasil *field output* akan menampilkan warna merah untuk daerah struktur portal yang mengalami perpindahan paling besar.

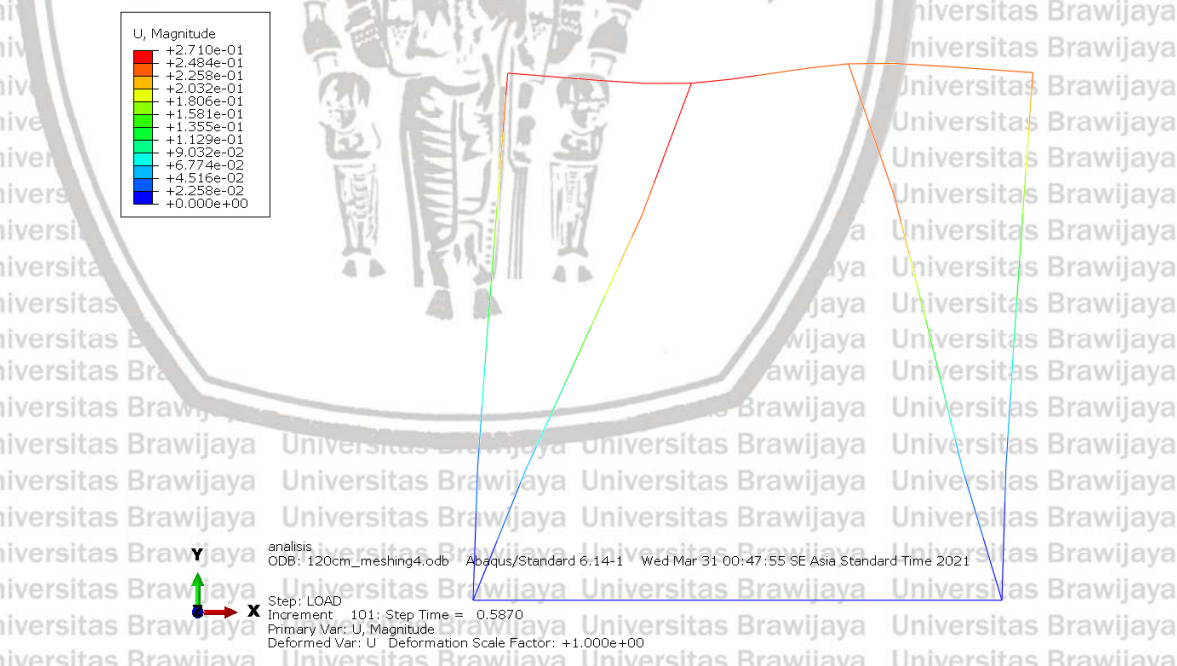


**Gambar 4.7** Analisis Perpindahan Pemodelan Struktur Eksentrisitas 0 cm





Gambar 4.8 Analisis Perpindahan Pemodelan Struktur Eksentrisitas 60 cm



Gambar 4.9 Analisis Perpindahan Pemodelan Struktur Eksentrisitas 120 cm

### 4.3 Respon Struktur Portal Akibat Pembebanan Statis

Pembebanan statis yang dianalisis di masing – masing pemodelan besarnya sama dan diinput pada bagian *node* kiri. Besarnya beban ditentukan dengan cara *trial and error* pada

pemodelan struktur portal baja eksentrisitas 0 cm. *Trial and error* dilakukan pada pemodelan tersebut dikarenakan struktur portal dengan *bracing* kosentris (*Concentrically Based Framed*) memiliki kekuatan paling besar dalam menahan beban daripada pemodelan struktur yang lain. Kemudian didapatkan hasil sebesar 550.000 N atau 55 ton dengan hasil *time* sebesar 0,951178 yang dapat disimpulkan struktur portal tersebut sudah mengalami keruntuhan saat diberi beban sekitar 523.000 N. Dalam melakukan *trial and error* hasil dari *history output* dicari angka *time* berkisar 0,9 – 0,99 dikarenakan saat beban diaplikasikan pada pemodelan struktur portal baja dengan eksentrisitas 60 cm dan 120 cm, kedua pemodelan tersebut dapat menampilkan hasil data yang tidak sedikit.

Pembebanan statis tersebut akan menampilkan atau mengeluarkan hasil *output* berupa *displacement* dan *force*. Didalam *software* ABAQUS dilakukan perintah *history output* pada *node* dimasing – masing jepit atau tumpuan dilakukan perintah RF (*Reaction forces and moments*) dan akan memberikan hasil *output* berupa gaya. Sedangkan pada *node* kiri atas atau di daerah *node* yang diberi beban lateral diberi perintah U1, U2, U3 yang dimana U1 adalah perpindahan yang dialami struktur portal baja dalam arah x, U2 adalah perpindahan yang dialami struktur portal baja dalam arah y, dan U3 adalah perpindahan yang dialami struktur portal baja dalam arah z.

*Node* perpindahan diletakkan pada kiri atas dikarenakan perpindahan yang paling besar terjadi pada daerah *node* yang diberi beban lateral sehingga dapat memberikan hasil perpindahan yang paling kritis, sedangkan untuk gaya diletakkan pada daerah jepit dikarenakan daerah tersebut menghasilkan nilai gaya yang paling kritis akibat beban lateral.

#### 4.4 History Output Analisis Pemodelan Portal Bracing Tipe Inverted V

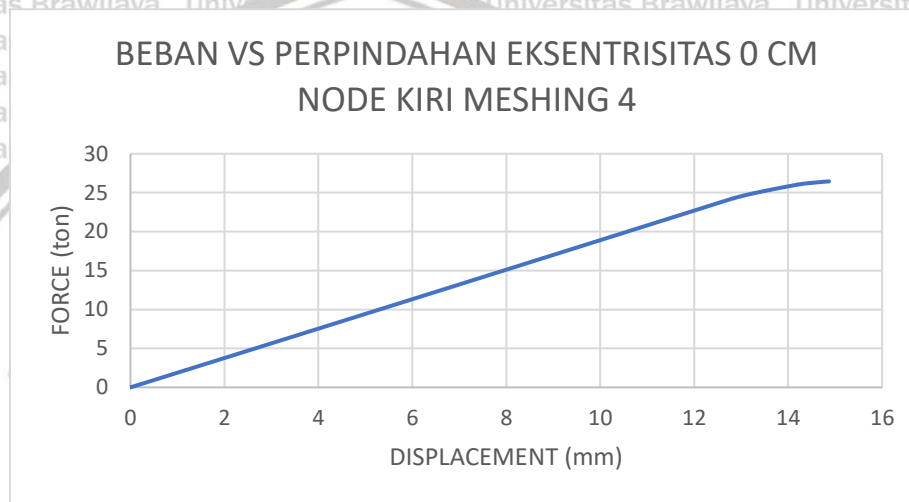
Hasil *history output* pada analisis ini ialah berupa tabel dan implementasi data – data dari tabel kedalam bentuk grafik. Didalam *software* ABAQUS akan menunjukkan tiga *output* yaitu *time – displacement* pada *node* kiri atas, *time – force* pada *node* kiri bawah (jepit kiri) dan *time – force* pada *node* kanan bawah (jepit kanan). Kemudian dengan bantuan *software* Microsoft Excel besaran gaya pada *node* kiri dan kanan dijumlah (RF kiri + RF kanan) dan diimplementasikan dalam bentuk grafik pada sumbu y sedangkan perpindahan atau *displacement* diimplementasikan dalam bentuk grafik pada sumbu x.



#### 4.4.1 Hasil Analisis Portal *Bracing* Tipe *Inverted V Meshing* 4

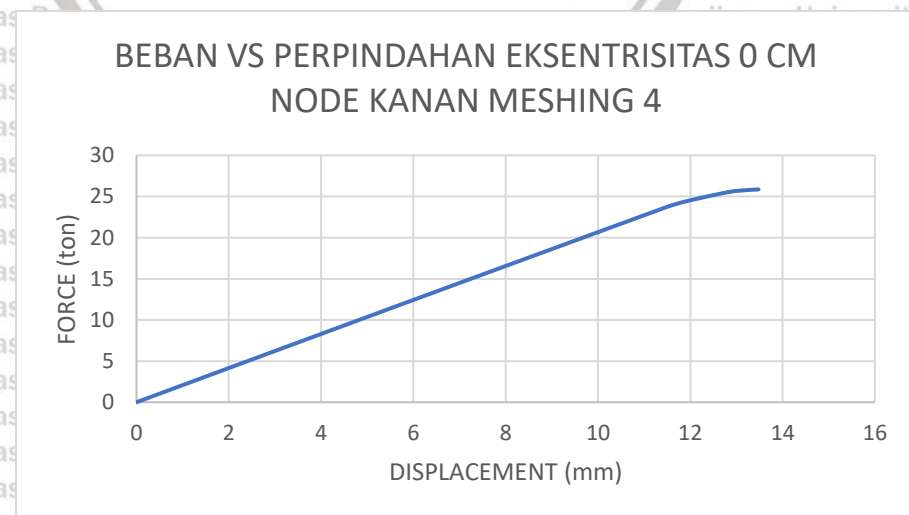
##### 4.4.1.1 Hasil Analisis Portal *Bracing* Eksentris 0 cm Tipe *Inverted V*

Besaran gaya dan perpindahan yang mampu ditahan oleh struktur portal *bracing* tipe *Inverted V* dengan eksentrisitas 0 cm *meshing* besar (*meshing* 4) dengan nilai *time* sebesar 0,9512 adalah 26,45 ton untuk RF yang berada pada tumpuan kiri dan 14,87 mm untuk perpindahan maksimum yang terjadi. **Gambar 4.10** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal.



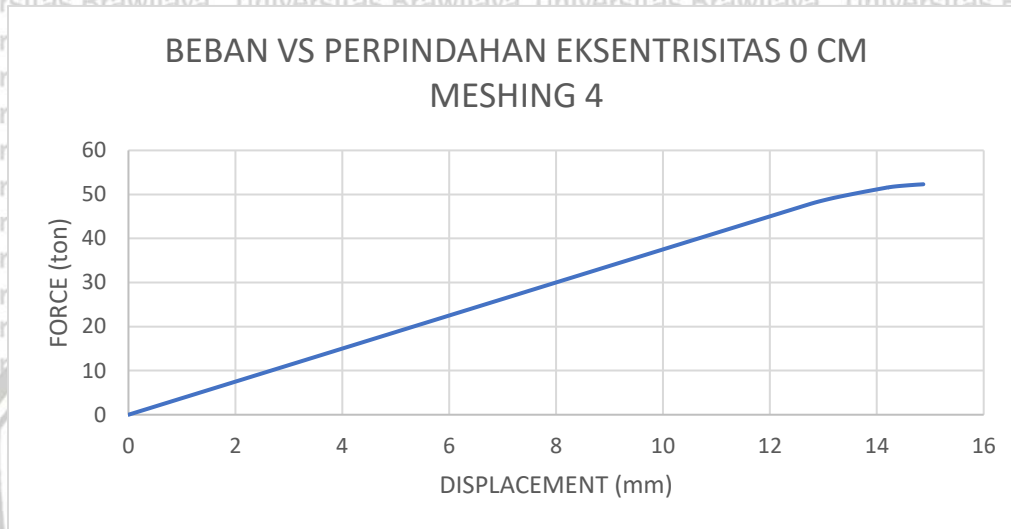
**Gambar 4.10** Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 0 cm Node Kiri Meshing 4

Sedangkan pada tumpuan kanan mampu menahan beban sebesar 25,864 ton dan perpindahan maksimum yang terjadi sebesar 13,479 mm. **Gambar 4.11** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal.

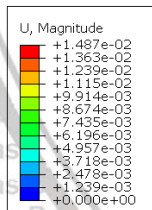


**Gambar 4.11** Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 0 cm Node Kanan Meshing 4

Dan untuk RF total didapat hasil sebesar 52,315 ton serta perpindahan maksimum sebesar 14,87 mm. **Gambar 4.12** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal serta **Gambar 4.13** akan menunjukkan visualisasi dari perpindahan yang dialami portal *bracing* eksentris 0 cm tipe *inverted V*.



Gambar 4.12 Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 0 cm Meshing 4



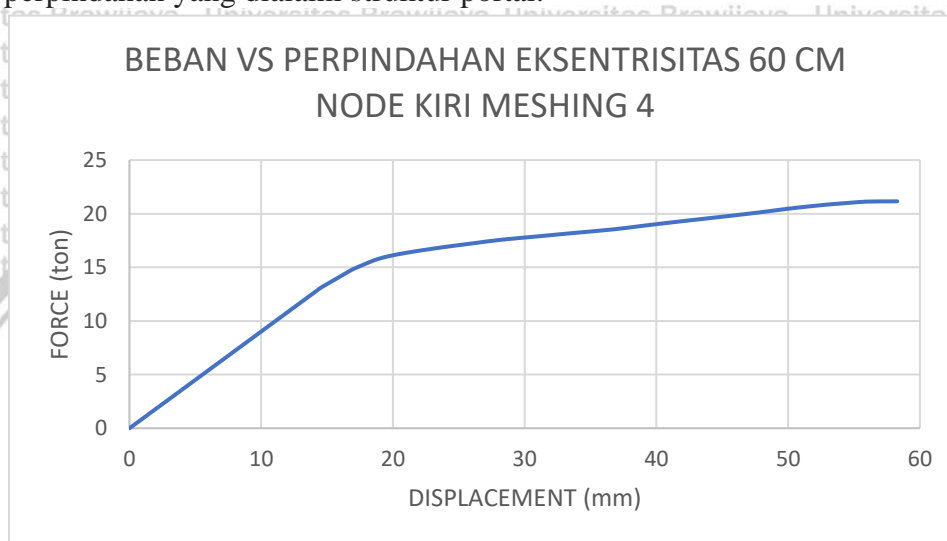
Y  
X  
ODB: 0cm\_meshing4.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Fri Mar 12 15:03:55 SE Asia Standard Time 2021  
Step: LOAD  
Increment: 126; Step Time = 0.9512  
Primary Var: U, Magnitude  
Deformed Var: U, Deformation Scale Factor: +1.000e+00

Gambar 4.13 Pemodelan Perpindahan Portal *Bracing* Eksentris 0 cm Tipe *Inverted V* Meshing 4



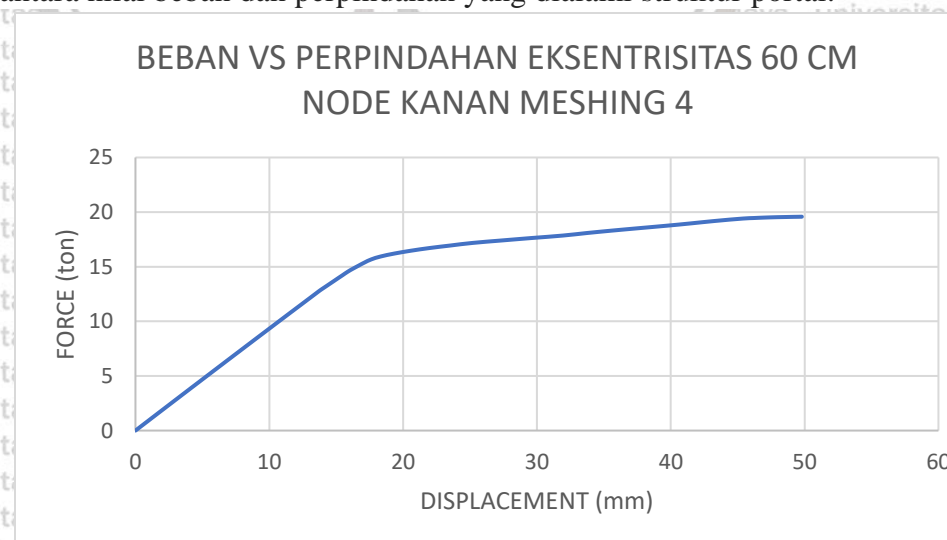
#### 4.4.1.2 Hasil Analisis Portal *Bracing* Eksentris 60 cm Tipe *Inverted V*

Besaran gaya dan perpindahan yang mampu ditahan oleh struktur portal *bracing* tipe *Inverted V* dengan eksentrisitas 60 cm *meshing* besar (*meshing* 4) dengan nilai *time* sebesar 0,7406 adalah 21,155 ton untuk RF yang berada pada tumpuan kiri dan 58,276 mm untuk perpindahan maksimum yang terjadi. **Gambar 4.14** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal.



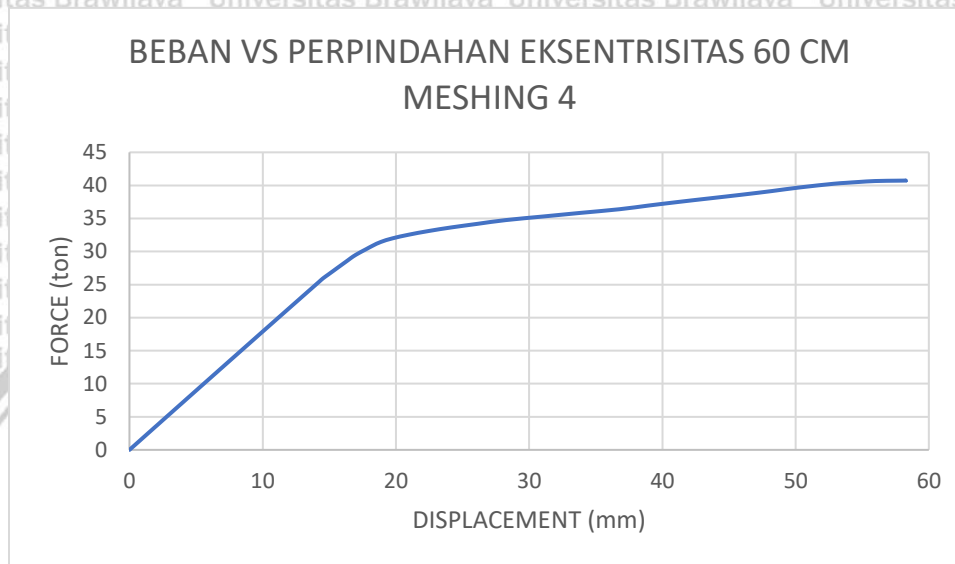
**Gambar 4.14** Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 60 cm Node Kiri Meshing 4

Sedangkan pada tumpuan kanan mampu menahan beban sebesar 19,578 ton dan perpindahan maksimum yang terjadi sebesar 49,794 mm. **Gambar 4.15** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal.

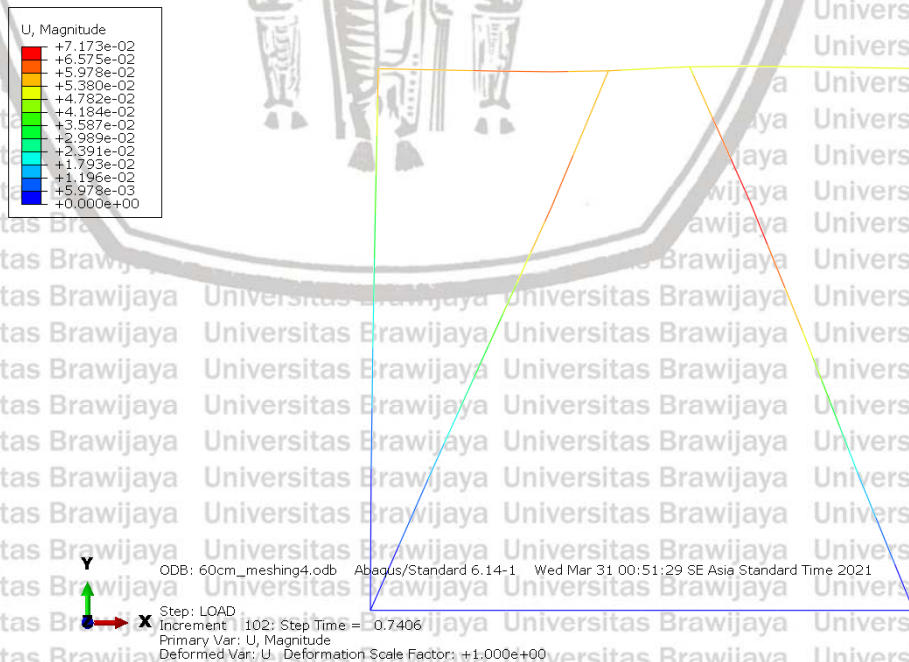


**Gambar 4.15** Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 60 cm Node Kanan Meshing 4

Dan untuk RF total didapat hasil sebesar 40,733 ton serta perpindahan maksimum sebesar 58,276 mm. **Gambar 4.16** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal serta **Gambar 4.17** akan menunjukkan visualisasi dari perpindahan yang dialami portal *bracing* eksentris 60 cm tipe *inverted V*.



**Gambar 4.16** Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 60 cm *Meshing 4*

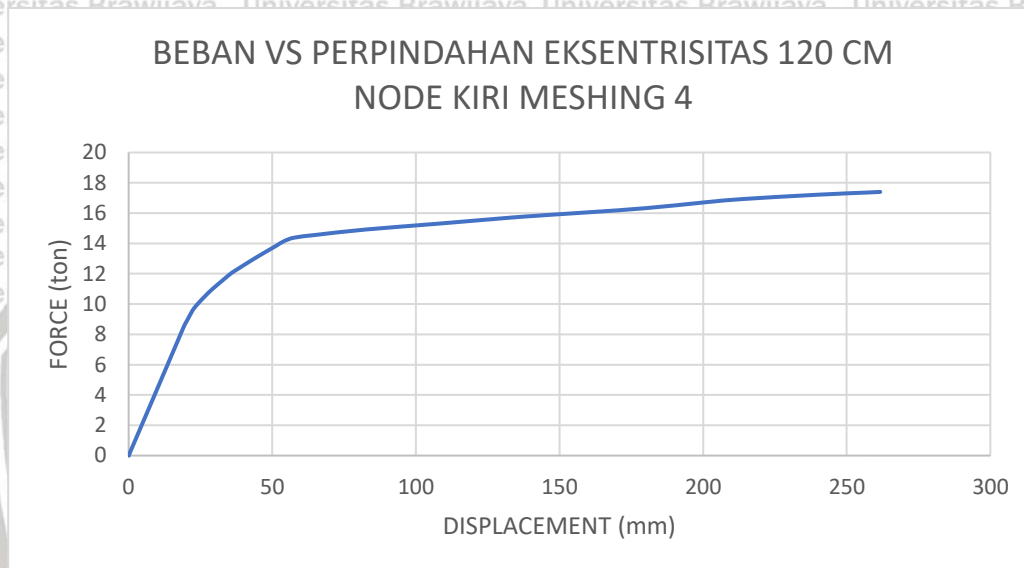


**Gambar 4.17** Pemodelan Perpindahan *Bracing* Eksentris 60 cm Tipe *Inverted V Meshing 4*



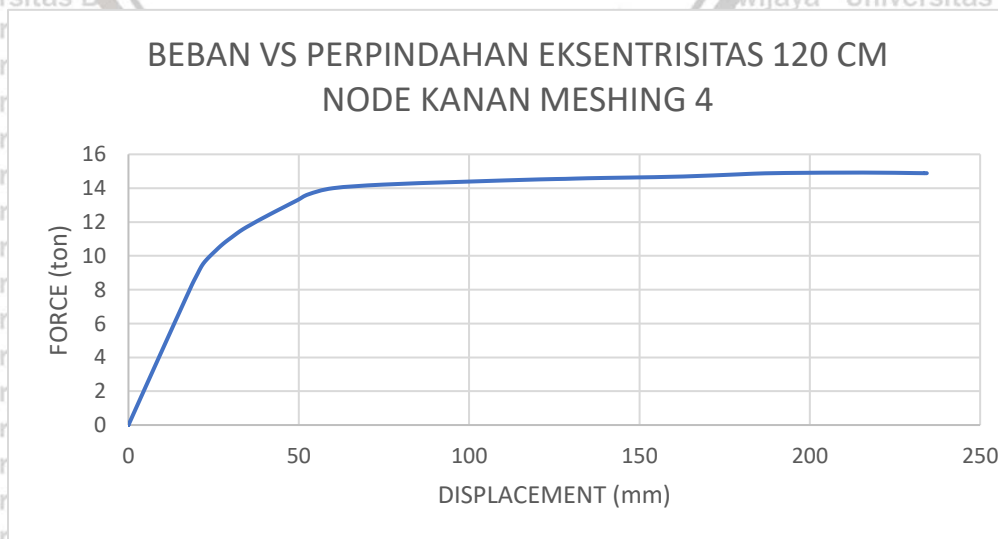
#### 4.4.1.3 Hasil Analisis Portal *Bracing* Eksentris 120 cm Tipe *Inverted V*

Besaran gaya dan perpindahan yang mampu ditahan oleh struktur portal *bracing* tipe *Inverted V* dengan eksentrisitas 120 cm *meshing* besar (*meshing* 4) dengan nilai *time* sebesar 0,5869 adalah 17,398 ton untuk RF yang berada pada tumpuan kiri dan 261,67 mm untuk perpindahan maksimum yang terjadi. **Gambar 4.18** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal.



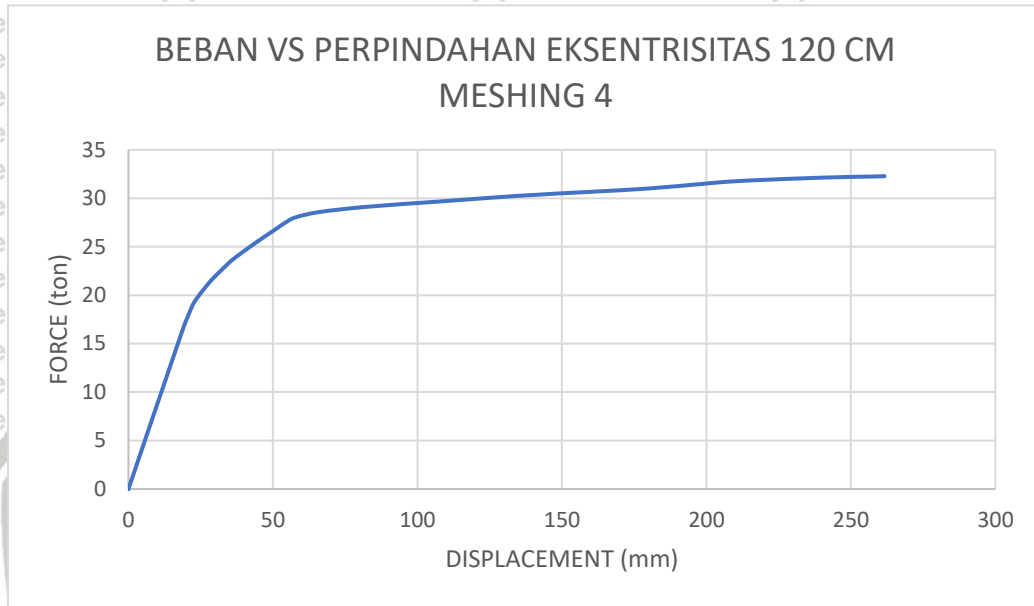
**Gambar 4.18** Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 120 cm Node Kiri Meshing 4

Sedangkan pada tumpuan kanan mampu menahan beban sebesar 14,886 ton dan perpindahan maksimum yang terjadi sebesar 234,35 mm. **Gambar 4.19** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal.

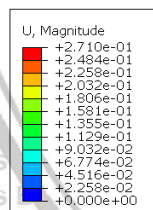


**Gambar 4.19** Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 120 cm Node Kanan Meshing 4

Dan untuk RF total didapat hasil sebesar 32,284 ton serta perpindahan maksimum sebesar 261,67 mm. **Gambar 4.20** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal serta **Gambar 4.21** akan menunjukkan visualisasi dari perpindahan yang dialami portal *bracing* eksentris 120 cm tipe *inverted V*.



**Gambar 4.20** Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 120 cm Meshing 4



analysis  
ODB: 120cm\_meshing4.odb / Abaqus/Standard 6.14-1 Wed Mar 31 00:47:55 SE Asia Standard Time 2021  
Step: LOAD  
Increment: 101; Step Time = 0.5870  
Primary Var: U, Magnitude  
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e+00

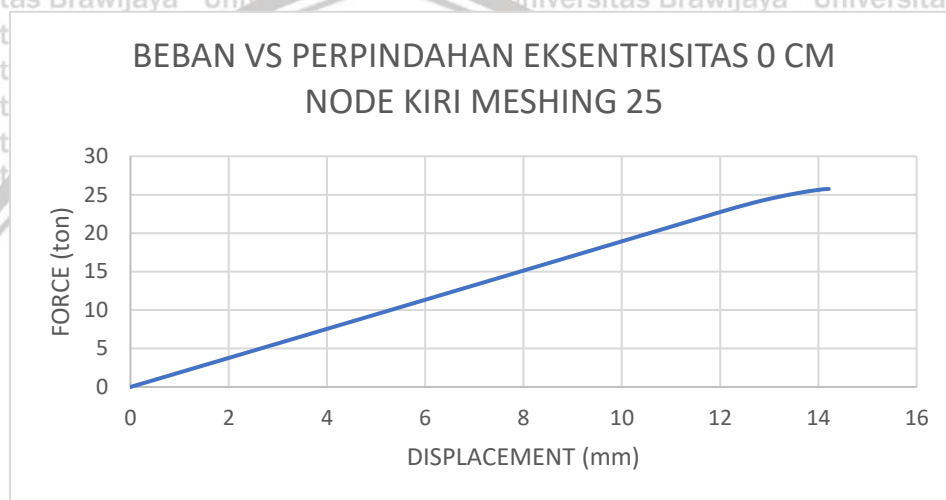
**Gambar 4.21** Pemodelan Perpindahan *Bracing* Eksentris 120 cm Tipe *Inverted V* Meshing 4



#### 4.4.2 Hasil Analisis Portal *Bracing Tipe Inverted V Meshing 25*

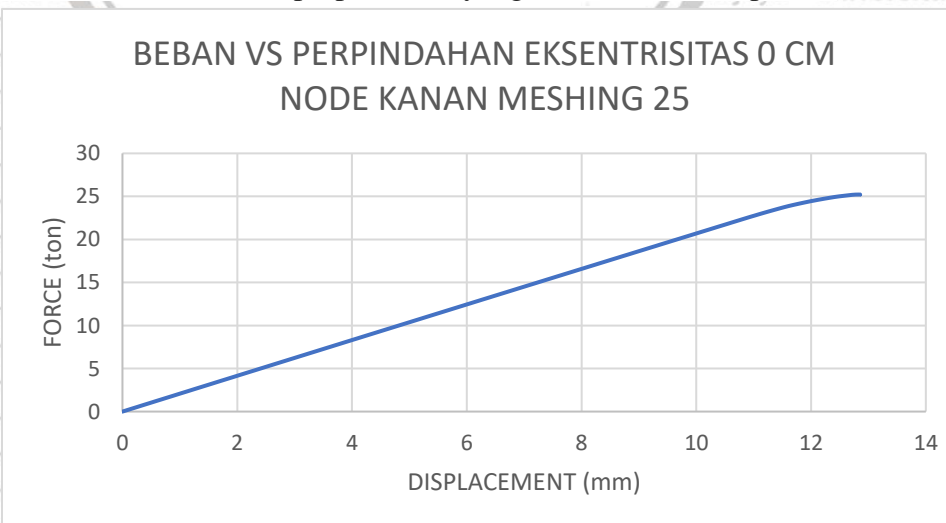
##### 4.4.2.1 Hasil Analisis Portal *Bracing Eksentris 0 cm Tipe Inverted V*

Besaran gaya dan perpindahan yang mampu ditahan oleh struktur portal *bracing* tipe *Inverted V* dengan eksentrisitas 0 cm *meshing* kecil (*meshing 25*) dengan nilai *time* sebesar 0,9268 adalah 25,7546 ton untuk RF yang berada pada tumpuan kiri dan 14,211 mm untuk perpindahan maksimum yang terjadi. **Gambar 4.22** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal.



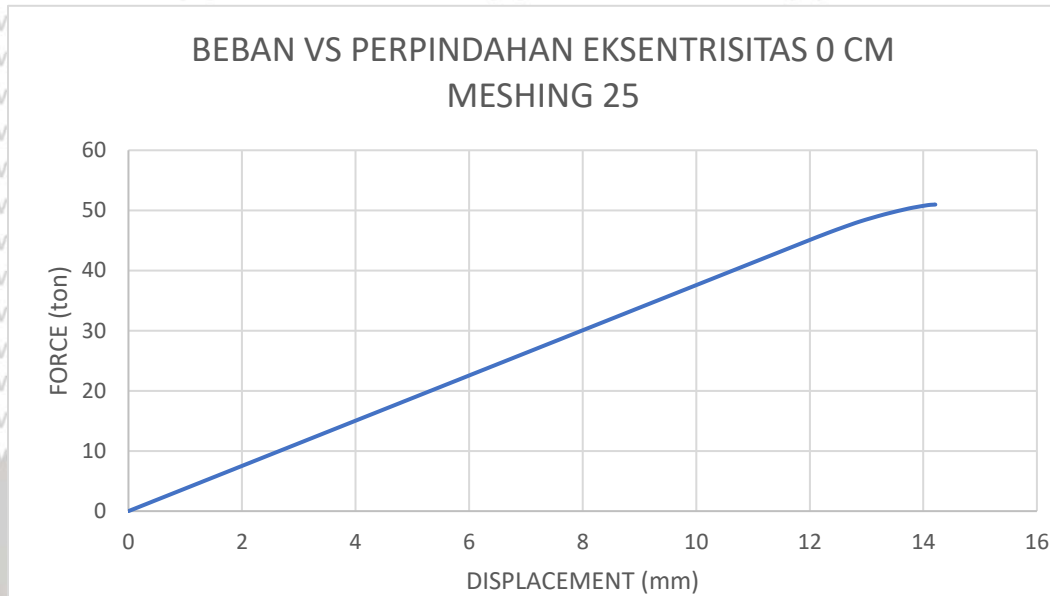
**Gambar 4.22** Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 0 cm Node Kiri Meshing 25

Sedangkan pada tumpuan kanan mampu menahan beban sebesar 25,22 ton dan perpindahan maksimum yang terjadi sebesar 12,855 mm. **Gambar 4.23** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal.

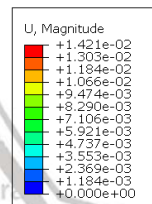


**Gambar 4.23** Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 0 cm Node Kanan Meshing 25

Dan untuk RF total didapat hasil sebesar 50,975 ton serta perpindahan maksimum sebesar 14,211 mm. **Gambar 4.24** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal serta **Gambar 4.25** akan menunjukkan visualisasi dari perpindahan yang dialami portal *bracing* eksentris 0 cm tipe *inverted V*.



Gambar 4.24 Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 0 cm Meshing 4



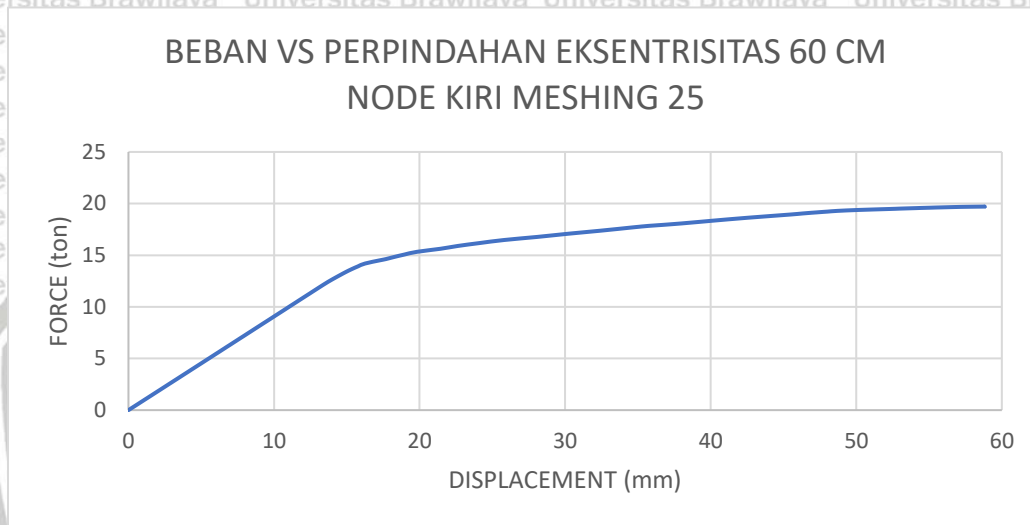
ODB: 0cm\_meshing25.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Wed Mar 31 00:44:41 SE Asia Standard Time 2021  
 Step: LOAD  
 Increment: 117; Step Time = 1.09268  
 Primary Var: U, Magnitude  
 Deformed Var: U, Deformation Scale Factor: +1.000e+00

Gambar 4.25 Pemodelan Perpindahan Portal *Bracing* Eksentris 0 cm Tipe *Inverted V* Meshing 4



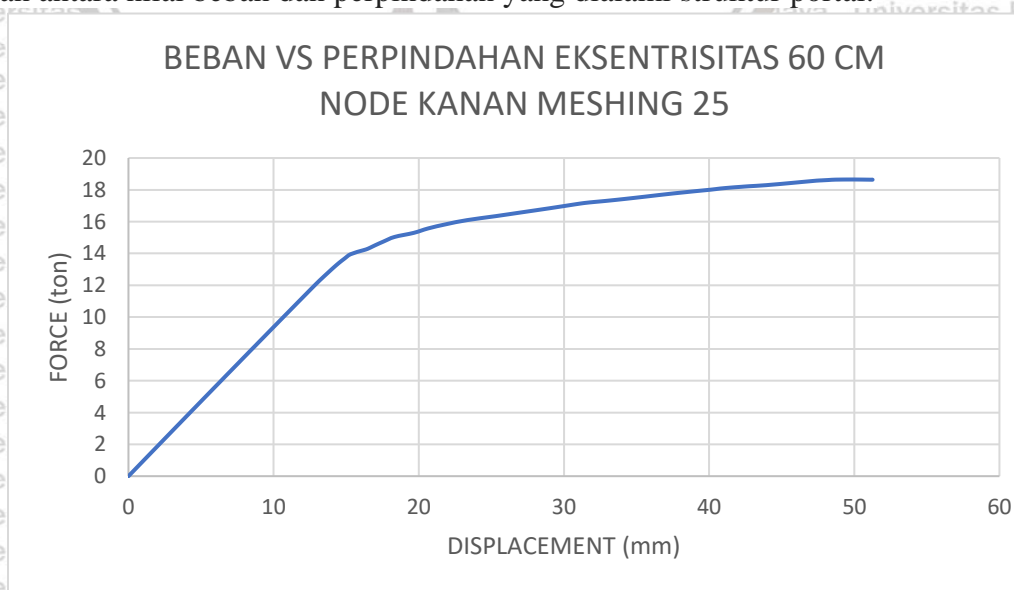
#### 4.4.2.2 Hasil Analisis Portal *Bracing* Eksentris 60 cm Tipe *Inverted V*

Besaran gaya dan perpindahan yang mampu ditahan oleh struktur portal *bracing* tipe *Inverted V* dengan eksentrisitas 60 cm *meshing* kecil (*meshing* 25) dengan nilai *time* sebesar 0,6972 adalah 19,71014 ton untuk RF yang berada pada tumpuan kiri dan 58,825 mm untuk perpindahan maksimum yang terjadi. **Gambar 4.26** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal.



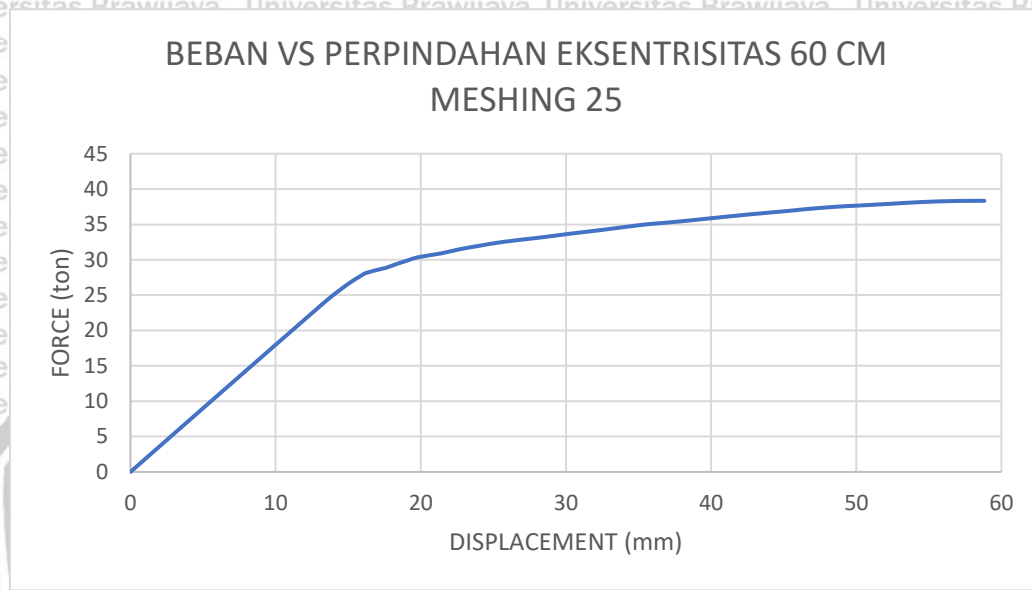
Gambar 4.26 Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 60 cm Node Kiri Meshing 25

Sedangkan pada tumpuan kanan mampu menahan beban sebesar 18,636 ton dan perpindahan maksimum yang terjadi sebesar 51,261 mm. **Gambar 4.27** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal.

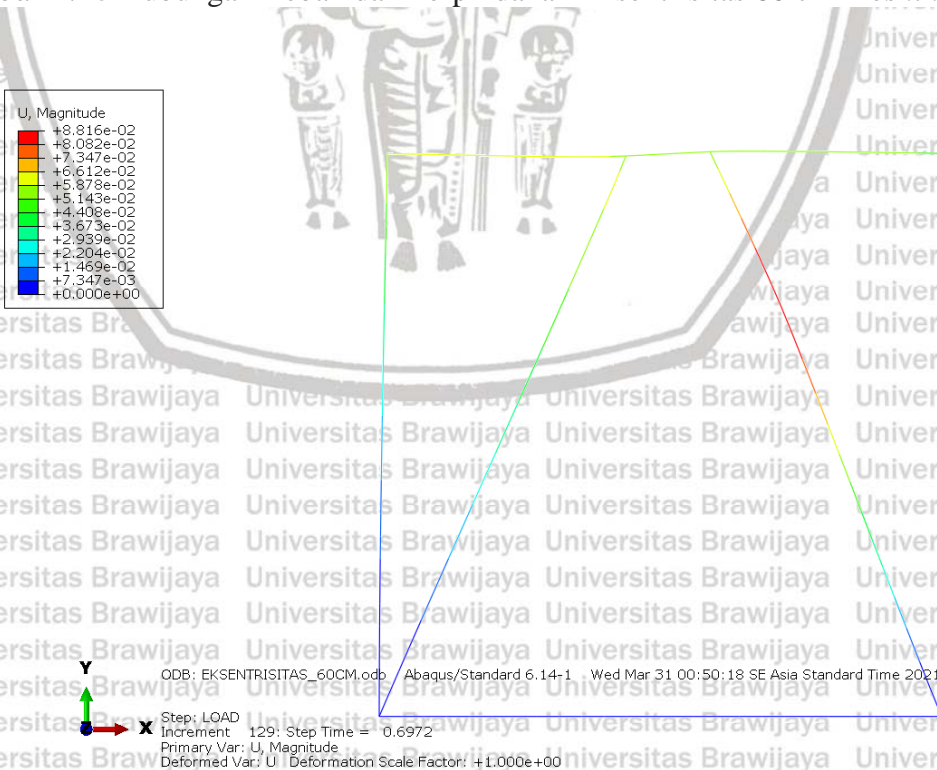


Gambar 4.27 Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 60 cm Node Kanan Meshing 25

Dan untuk RF total didapat hasil sebesar 38,346 ton serta perpindahan maksimum sebesar 58,825 mm. **Gambar 4.28** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal serta **Gambar 4.29** akan menunjukkan visualisasi dari perpindahan yang dialami portal *bracing* eksentris 60 cm tipe *inverted V*.



**Gambar 4.28** Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 60 cm *Meshing* 25

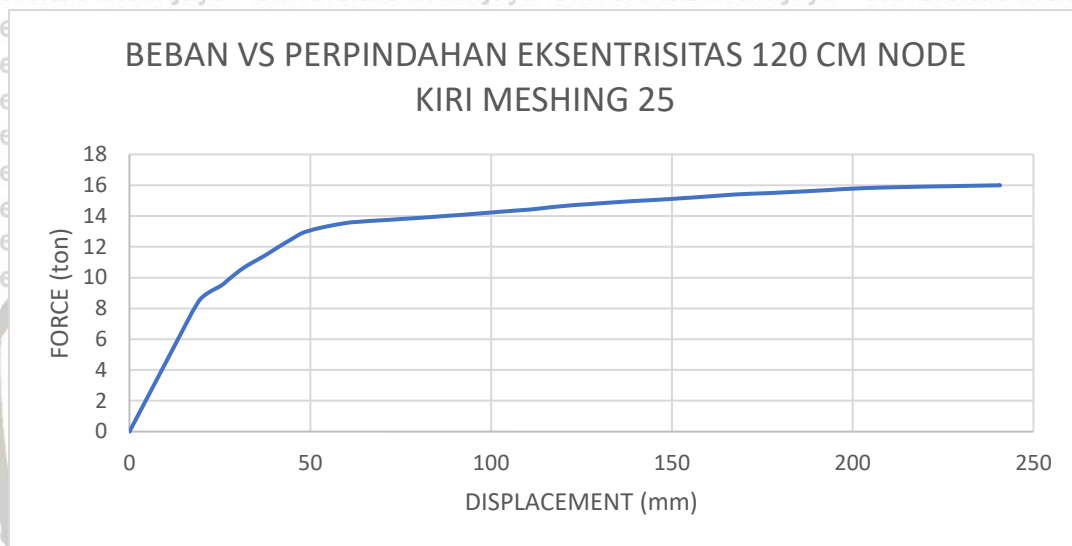


**Gambar 4.29** Pemodelan Perpindahan *Bracing* Eksentris 60 cm Tipe *Inverted V* *Meshing* 25



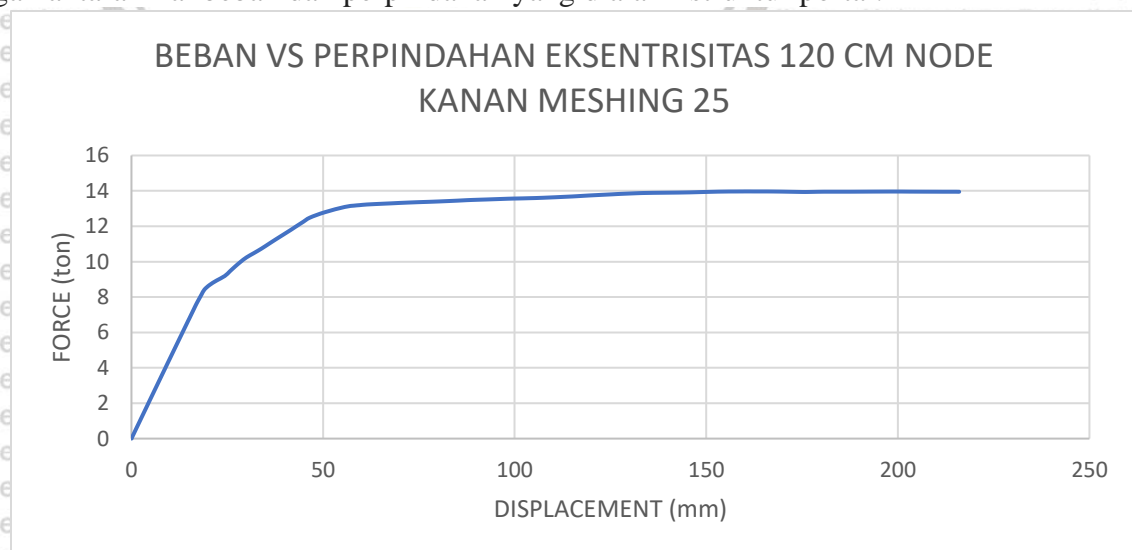
#### 4.4.2.3 Hasil Analisis Portal *Bracing* Eksentris 120 cm Tipe *Inverted V*

Besaran gaya dan perpindahan yang mampu ditahan oleh struktur portal *bracing* tipe *Inverted V* dengan eksentrisitas 120 cm *meshing* kecil (*meshing* 25) dengan nilai *time* sebesar 0,5445 adalah 16 ton untuk RF yang berada pada tumpuan kiri dan 240,774 mm untuk perpindahan maksimum yang terjadi. **Gambar 4.30** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal.



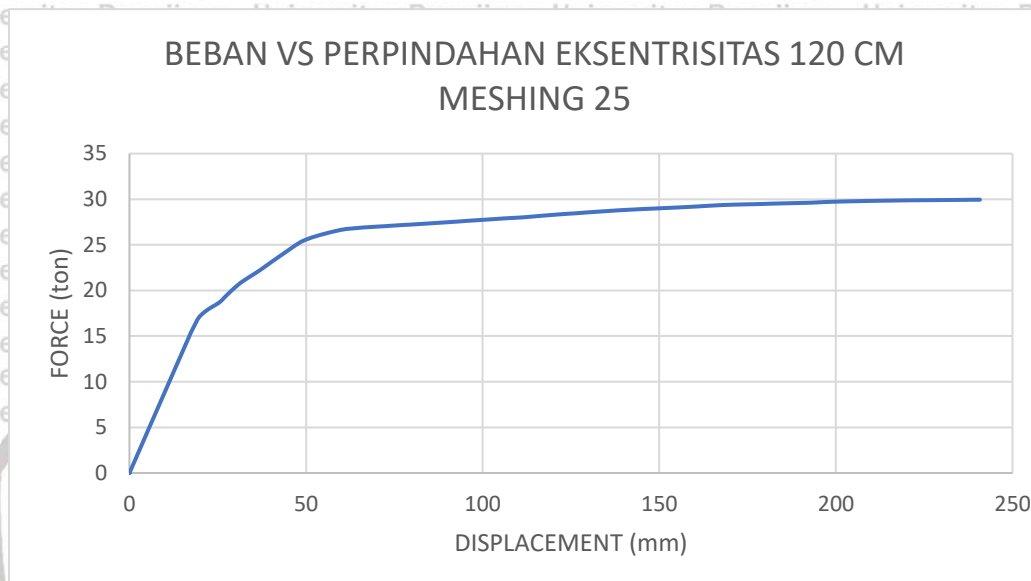
**Gambar 4.30** Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 120 cm *Node Kiri Meshing* 25

Sedangkan pada tumpuan kanan mampu menahan beban sebesar 13,9489 ton dan perpindahan maksimum yang terjadi sebesar 216,014 mm. **Gambar 4.31** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal.

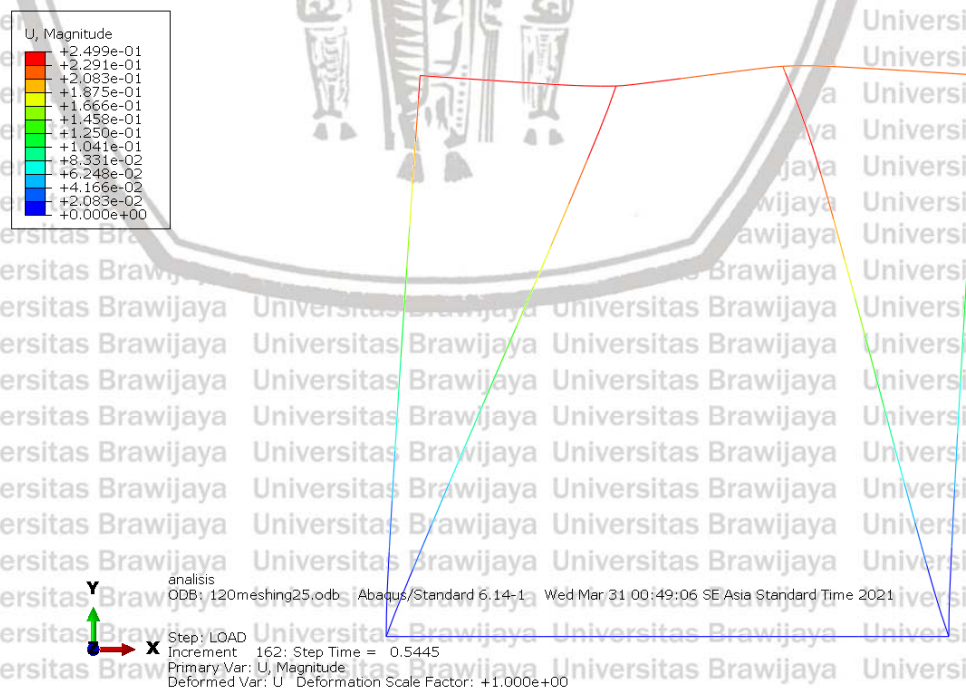


**Gambar 4.31** Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 120 cm *Node Kanan Meshing* 25

Dan untuk RF total didapat hasil sebesar 29,949 ton serta perpindahan maksimum sebesar 240,774 mm. **Gambar 4.32** akan menunjukkan hubungan antara nilai beban dan perpindahan yang dialami struktur portal serta **Gambar 4.33** akan menunjukkan visualisasi dari perpindahan yang dialami portal *bracing* eksentris 120 cm tipe *inverted V*.



Gambar 4.32 Hubungan Beban dan Perpindahan Eksentrisitas 120 cm Meshing 25



Gambar 4.33 Pemodelan Perpundahan *Bracing* Eksentris 120 cm Tipe *Inverted V* Meshing 25



#### 4.5 Perbandingan Hasil Analisis Pengaruh Eksentrisitas pada Portal *Bracing* Tipe *Inverted V* akibat Beban Lateral

Hasil dari masing – masing pemodelan struktur portal *bracing* eksentris tipe *inverted V* digabungkan dan dibandingkan hasil dari masing – masing pemodelan tersebut untuk mengetahui hasil dari analisis penelitian kali ini. Grafik perbandingan terbagi menjadi tiga yaitu grafik perbandingan beban dan perpindahan node kiri, grafik perbandingan beban dan perpindahan node kanan dan grafik perbandingan beban dan perpindahan.

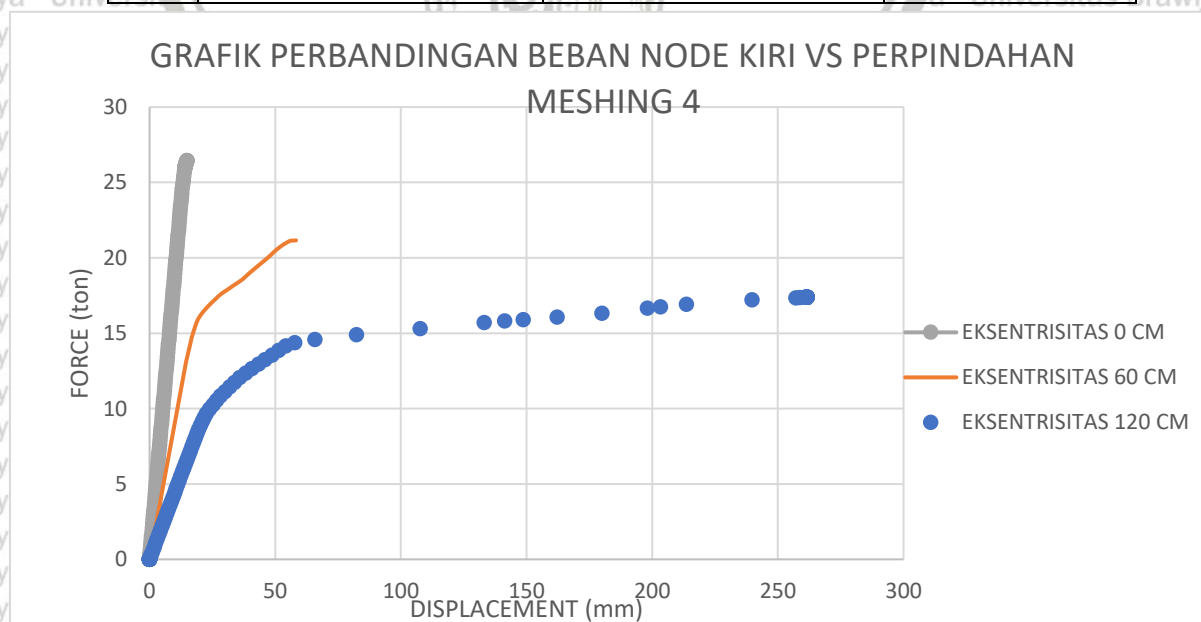
##### 4.5.1 Perbandingan Hasil Analisis Pengaruh Eksentrisitas pada Portal *Bracing* Tipe *Inverted V* Meshing 4

Besarnya beban (RF kiri) dan perpindahan maksimum yang terjadi dari setiap pemodelan direkapitulasi kedalam tabel sebagai berikut :

Tabel 4.3

Perbandingan Gaya Kiri dan Perpindahan dari Masing – Masing Pemodelan *Meshing 4*

No.	Model Struktur Portal	Beban/Gaya (RF kiri)	Perpindahan (U)
1	Eksentrisitas 0 cm	26,45 ton	14,8705 mm
2	Eksentrisitas 60 cm	21,155 ton	58,276 mm
3	Eksentrisitas 120 cm	17,398 ton	261,67 mm



Gambar 4.34 Grafik Perbandingan Beban Node Kiri dan Perpindahan *Meshing 4*

Hasil grafik dari ketiga pemodelan tersebut kemudian digabung menjadi satu untuk melihat perbedaan hasil dari masing – masing pemodelan tersebut yang digambarkan pada **Gambar 4.34**.

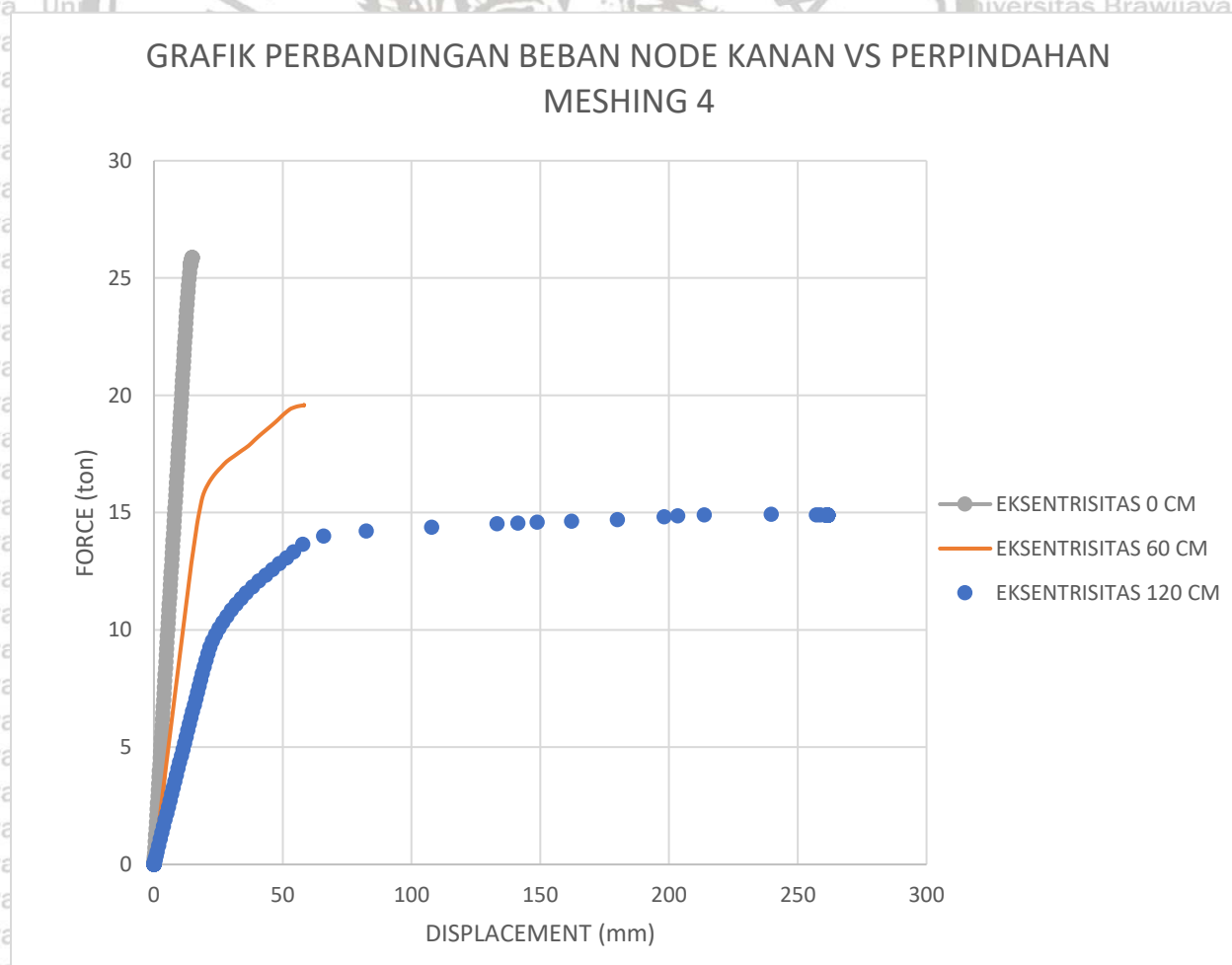
Besarnya beban (RF kanan) dan perpindahan maksimum yang terjadi dari setiap pemodelan direkapitulasi kedalam tabel sebagai berikut :

*Tabel 4.4*

Perbandingan Gaya Kanan dan Perpindahan dari Masing – Masing Pemodelan *Meshing 4*

No.	Model Struktur Portal	Beban/Gaya (RF kanan)	Perpindahan (U)
1	Eksentrisitas 0 cm	25,864 ton	13,479 mm
2	Eksentrisitas 60 cm	19,578 ton	49,794 mm
3	Eksentrisitas 120 cm	14,886 ton	234,35 mm

Hasil grafik dari ketiga pemodelan tersebut kemudian digabung menjadi satu untuk melihat perbedaan hasil dari masing – masing pemodelan tersebut yang digambarkan pada **Gambar 4.35**.



*Gambar 4.35* Grafik Perbandingan Beban Node Kanan dan Perpindahan *Meshing 4*



Besarnya beban dan perpindahan maksimum yang terjadi dari setiap pemodelan direkapitulasi kedalam tabel sebagai berikut :

Tabel 4.5

Perbandingan Gaya Total dan Perpindahan dari Masing – Masing Pemodelan *Meshing 4*

No.	Model Struktur Portal	Beban/Gaya (RF total)	Perpindahan (U)
1	Eksentrisitas 0 cm	52,315 ton	14,8705 mm
2	Eksentrisitas 60 cm	40,733 ton	58,276 mm
3	Eksentrisitas 120 cm	32,284 ton	261,67 mm

Hasil grafik dari ketiga pemodelan tersebut kemudian digabung menjadi satu untuk melihat perbedaan hasil dari masing – masing pemodelan tersebut yang digambarkan pada **Gambar 4.36**.



Gambar 4.36 Grafik Perbandingan Beban dan Perpindahan *Meshing 4*

#### 4.5.2 Perbandingan Hasil Analisis Pengaruh Eksentrisitas pada Portal *Bracing Tipe Inverted V Meshing 25*

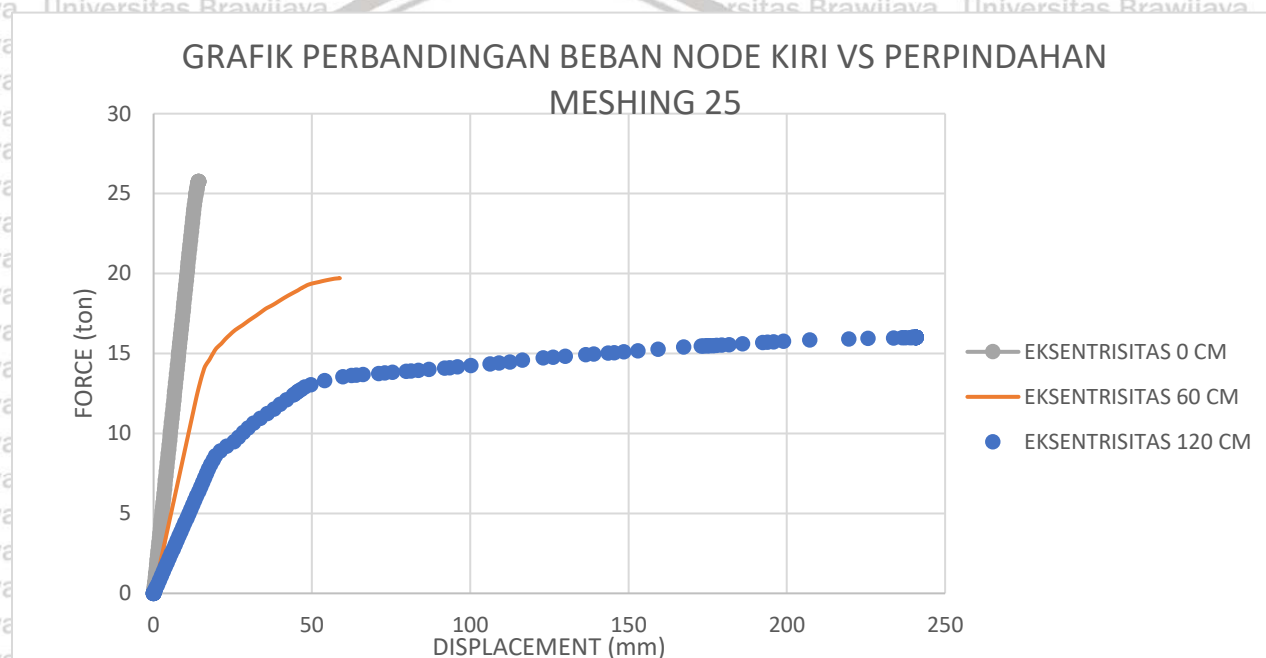
Besarnya beban (RF kiri) dan perpindahan maksimum yang terjadi dari setiap pemodelan direkapitulasi kedalam tabel sebagai berikut :

Tabel 4.6

Perbandingan Gaya Kiri dan Perpindahan dari Masing – Masing Pemodelan *Meshing 25*

No.	Model Struktur Portal	Beban/Gaya (RF kiri)	Perpindahan (U)
1	Eksentrisitas 0 cm	25,7546 ton	14,211 mm
2	Eksentrisitas 60 cm	19,7102 ton	58,825 mm
3	Eksentrisitas 120 cm	16 ton	220,774 mm

Hasil grafik dari ketiga pemodelan tersebut kemudian digabung menjadi satu untuk melihat perbedaan hasil dari masing – masing pemodelan tersebut yang digambarkan pada **Gambar 4.37**.



Gambar 4.37 Grafik Perbandingan Beban Node Kiri dan Perpindahan *Meshing 25*

Besarnya beban (RF kanan) dan perpindahan maksimum yang terjadi dari setiap pemodelan direkapitulasi kedalam tabel sebagai berikut :

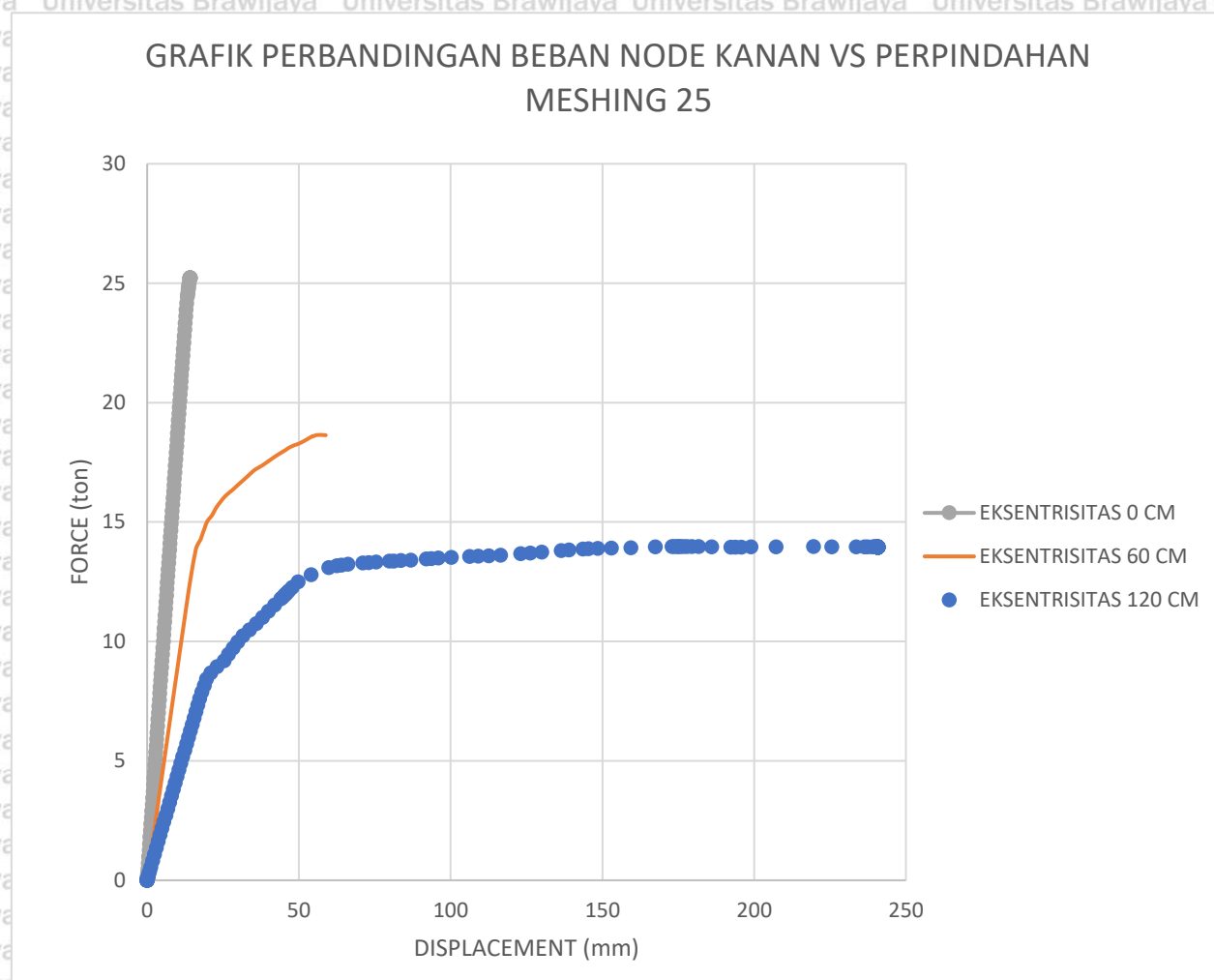
Tabel 4.7

Perbandingan Gaya Kanan dan Perpindahan dari Masing – Masing Pemodelan *Meshing 25*

No.	Model Struktur Portal	Beban/Gaya (RF kanan)	Perpindahan (U)
1	Eksentrisitas 0 cm	25,2203 ton	12,855 mm
2	Eksentrisitas 60 cm	18,636 ton	51,261 mm
3	Eksentrisitas 120 cm	13,949 ton	216,0136 mm



Hasil grafik dari ketiga pemodelan tersebut kemudian digabung menjadi satu untuk melihat perbedaan hasil dari masing – masing pemodelan tersebut yang digambarkan pada **Gambar 4.38**.



*Gambar 4.38 Grafik Perbandingan Beban Node Kanan dan Perpindahan Meshing 25*

Besarnya beban dan perpindahan maksimum yang terjadi dari setiap pemodelan direkapitulasi kedalam tabel sebagai berikut :

*Tabel 4.8*  
Perbandingan Gaya Total dan Perpindahan dari Masing – Masing Pemodelan Meshing 25

No.	Model Struktur Portal	Beban/Gaya (RF total)	Perpindahan (U)
1	Eksentrisitas 0 cm	50,975 ton	14,211 mm
2	Eksentrisitas 60 cm	38,3461 ton	58,825 mm
3	Eksentrisitas 120 cm	29,949 ton	240,774 mm

Hasil grafik dari ketiga pemodelan tersebut kemudian digabung menjadi satu untuk melihat perbedaan hasil dari masing – masing pemodelan tersebut yang digambarkan pada **Gambar 4.39**.



*Gambar 4.39 Grafik Perbandingan Beban dan Perpindahan Meshing 25*



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Pada penelitian analisis stuktur portal *bracing* eksentris tipe *inverted V* didapatkan kesimpulan dari ketiga pemodelan sebagai berikut :

1. Dapat disimpulkan bahwa pemodelan struktur yang paling kuat menahan beban lateral adalah struktur portal baja *bracing inverted V* dengan eksentrisitas 0 cm (CBF) sebesar 52,316 ton dilanjutkan dengan struktur portal baja *bracing inverted V* dengan eksentrisitas 60 cm (*short link*) sebesar 40,733 ton, dan yang paling lemah menahan beban lateral adalah struktur portal baja *bracing inverted V* dengan eksentrisitas 120 cm (*long link*) sebesar 29,9475 ton. Sehingga hasil analisis pada penelitian kali ini sesuai dengan hipotesa penelitian.
2. Dapat disimpulkan bahwa pemodelan struktur yang mengalami perpindahan paling besar adalah struktur portal baja *bracing inverted V* eksentrisitas 120 cm sebesar 261,67 mm dan yang paling kecil mengalami perpindahan adalah struktur portal baja *bracing inverted V* dengan eksentrisitas 0 cm sebesar 14,211 mm. Sehingga hasil analisis pada penelitian kali ini sesuai dengan hipotesa penelitian.

#### 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan pemodelan *shell*.
2. Dilakukan analisis pemodelan struktur dengan pemodelan *bracing* tipe lain dan juga dilakukan analisis pemodelan lebih dari satu tingkat.
3. Dilakukan analisis dengan memperhitungkan gaya vertikal.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, R., 2015. *Studi Perbandingan Perilaku Struktur Eccentrically Braced Frames Inverted V Dan Eccentrically Braced Frames Inverted Y Terhadap Beban Lateral Gempa* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Rienanda, F.E., Kumaat, E.J. and Windah, R.S., 2019. Pengaruh Bracing Pada Bangunan Bertingkat Rangka Baja yang Berdiri di Atas Tanah Miring Terhadap Gempa. *JURNAL SIPIL STATIK*, 7(6). Brawijaya
- Hague, S.D., 2013. Eccentrically braced steel frames as a seismic force resisting system.
- Berman, J.W., Okazaki, T. and Hauksdottir, H.O., 2010. Reduced link sections for improving the ductility of eccentrically braced frame link-to-column connections. *Journal of Structural Engineering*, 136(5), pp.543-553.
- Suswanto, B., Rizki, A., Wahyuni, E. and Wilson, J., 2017. Numerical behavior study of short link, intermediate link and long link in eccentrically braced frame steel structure. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(21), pp.11460-11471.
- Hashemi, Seyed H. (2011), "Ductility and Ultimate Strength of Eccentric Braced Frame". Proceeding of International Conference on Advanced Materials Engineering, Cairo, Mesir, 1-3 October.
- <https://www.itb.ac.id/news/read/56541/home/mengatasi-kelemahan-material-beton-agar-bangunan-tetap-kuat-dan-tahan-gempa>
- [http://eprints.undip.ac.id/41437/4/BAB\\_III\\_-\\_Analisa\\_Tegangan\\_Von\\_Mises.pdf](http://eprints.undip.ac.id/41437/4/BAB_III_-_Analisa_Tegangan_Von_Mises.pdf)
- [http://www.ejurnal.bunghatta.ac.id/?journal=JFTSP&page=article&op=download&path\[\]=10376&path\[\]=8669&path\[\]=0](http://www.ejurnal.bunghatta.ac.id/?journal=JFTSP&page=article&op=download&path[]=10376&path[]=8669&path[]=0)
- Abaqus Analysis User's Manual 6.9. Dassault Systems Simulia Corp., Providence. RI. USA.
- Gunawan, R., Morisco. 1998. Tabel Profil Konstruksi Baja. Yogyakarta: Kanisius
- Hu, J., Marciniak, Z. and Duncan, J. eds., 2002. *Mechanics of sheet metal forming*. Elsevier.
- Rafael, Jusuf Wilson n Meynerd, and Budi Suswanto. 2018. "Studi Perilaku Link Pendek, Link Menengah Dan Link Panjang Pada Struktur Baja Sistem Ebf." *Journal of Civil Engineering* 32(1): 25
- James M.Gere. 1994. *Mekanika Bahan*. Jakarta: Erlangga.
- Syafirra, S., Susanti, L. and Wijaya, M.N., 2018. EFEK BEBAN GEMPA DUA ARAH DAN TIGA ARAH TERHADAP KAPASITAS STRUKTUR JEMBATAN WARREN. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(2), pp.pp-626.
- Iqbal, M., Susanti, L. and Setyowulan, D., 2018. Analisis Kapasitas Struktur Jembatan Rangka Tipe Warren Dengan Mutu Baja Tidak Seragam dalam Menahan Beban Gempa Dua Arah dan Tiga Arah. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(2), pp.pp-641.



## LAMPIRAN

- Data grafik eksentrisitas 0 cm *meshing 4*

TOTAL		KIRI		KANAN	
RF1	U1	RF1	U1	RF1	U1
0	0	0	0	0	0
0.0055	0.001465	0.002757	0.001465	0.002743	0.001319
0.011	0.00293	0.005515	0.00293	0.005485	0.002639
0.01925	0.005128	0.009651	0.005128	0.009599	0.004618
0.031625	0.008424	0.015856	0.008424	0.015769	0.007586
0.050188	0.013368	0.025162	0.013368	0.025025	0.012039
0.078031	0.020785	0.039122	0.020785	0.038909	0.018718
0.119797	0.03191	0.060062	0.03191	0.059735	0.028736
0.182445	0.048598	0.091473	0.048598	0.090972	0.043764
0.276418	0.07363	0.13859	0.07363	0.137828	0.066305
0.417377	0.111177	0.209267	0.111177	0.20811	0.100118
0.628815	0.167498	0.315288	0.167498	0.313527	0.150836
0.945973	0.25198	0.47433	0.25198	0.471644	0.226914
1.42171	0.378704	0.712916	0.378704	0.708794	0.341031
1.97171	0.525211	0.988781	0.525211	0.982929	0.472963
2.52171	0.671719	1.264683	0.671719	1.257026	0.604895
3.07171	0.818228	1.540624	0.818228	1.531086	0.736827
3.62171	0.964739	1.816602	0.964739	1.805108	0.86876
4.17171	1.11125	2.092618	1.11125	2.079092	1.000694
4.72171	1.257763	2.368672	1.257763	2.353038	1.132628
5.27171	1.404278	2.644764	1.404278	2.626946	1.264563
5.82171	1.550794	2.920893	1.550794	2.900817	1.396498
6.37171	1.697311	3.197061	1.697311	3.174649	1.528435
6.92171	1.84383	3.473266	1.84383	3.448444	1.660372
7.47171	1.990349	3.749509	1.990349	3.722201	1.792309
8.02171	2.136871	4.025789	2.136871	3.995921	1.924248
8.57171	2.283394	4.302108	2.283394	4.269602	2.056187
9.12171	2.429919	4.578464	2.429919	4.543246	2.188128
9.67171	2.576446	4.854858	2.576446	4.816852	2.320069
10.22171	2.722974	5.13129	2.722974	5.09042	2.452012
10.77171	2.869503	5.40776	2.869503	5.36395	2.583955
11.32171	3.016035	5.684268	3.016035	5.637442	2.715899
11.87171	3.162568	5.960814	3.162568	5.910896	2.847845
12.42171	3.309103	6.237397	3.309103	6.184313	2.979791
12.97171	3.45564	6.514018	3.45564	6.457691	3.111739

13.52171	3.602179	6.790677	3.602179	6.731032	3.243688
14.07171	3.74872	7.067375	3.74872	7.004335	3.375638
14.62171	3.895262	7.344109	3.895262	7.2776	3.507589
15.17171	4.041807	7.620883	4.041807	7.550827	3.639541
15.72171	4.188354	7.897694	4.188354	7.824016	3.771495
16.27171	4.334902	8.174542	4.334902	8.097167	3.90345
16.82171	4.481453	8.451429	4.481453	8.37028	4.035407
17.37171	4.628006	8.728353	4.628006	8.643356	4.167365
17.92171	4.774561	9.005316	4.774561	8.916394	4.299324
18.47171	4.921118	9.282316	4.921118	9.189393	4.431285
19.02171	5.067678	9.559355	5.067678	9.462355	4.563248
19.57171	5.21424	9.836431	5.21424	9.735278	4.695212
20.12171	5.360804	10.11355	5.360804	10.00816	4.827178
20.67171	5.50737	10.3907	5.50737	10.28101	4.959145
21.22171	5.65394	10.66789	5.65394	10.55382	5.091114
21.77171	5.800511	10.94512	5.800511	10.82659	5.223085
22.32171	5.947085	11.22238	5.947085	11.09933	5.355057
22.87171	6.093661	11.49969	6.093661	11.37202	5.487032
23.42171	6.24024	11.77703	6.24024	11.64468	5.619008
23.97171	6.386822	12.05441	6.386822	11.9173	5.750986
24.52171	6.533406	12.33183	6.533406	12.18988	5.882966
25.07171	6.679993	12.60929	6.679993	12.46242	6.014948
25.62171	6.826582	12.88678	6.826582	12.73493	6.146932
26.17171	6.973175	13.16432	6.973175	13.00739	6.278918
26.72171	7.11977	13.44189	7.11977	13.27982	6.410906
27.27171	7.266368	13.7195	7.266368	13.55221	6.542895
27.82171	7.412969	13.99714	7.412969	13.82457	6.674888
28.37171	7.559573	14.27483	7.559573	14.09688	6.806883
28.92171	7.706179	14.55255	7.706179	14.36916	6.938879
29.47171	7.852789	14.83032	7.852789	14.64139	7.070878
30.02171	7.999402	15.10812	7.999402	14.91359	7.20288
30.57171	8.146018	15.38596	8.146018	15.18575	7.334883
31.12171	8.292638	15.66383	8.292638	15.45788	7.466889
31.67171	8.43926	15.94175	8.43926	15.72996	7.598898
32.22171	8.585885	16.2197	8.585885	16.00201	7.730909
32.77171	8.732514	16.49769	8.732514	16.27402	7.862923
33.32171	8.879147	16.77572	8.879147	16.54599	7.994939
33.87171	9.025782	17.05379	9.025782	16.81792	8.126957
34.42171	9.172421	17.3319	9.172421	17.08981	8.258979
34.97171	9.319063	17.61005	9.319063	17.36167	8.391003
35.52171	9.465709	17.88823	9.465709	17.63348	8.52303



36.07171	9.612359	18.16645	9.612359	17.90526	8.65506
36.62171	9.759013	18.44471	9.759013	18.177	8.787093
37.17171	9.905669	18.72301	9.905669	18.4487	8.919128
37.72171	10.05233	19.00135	10.05233	18.72036	9.051166
38.27171	10.19899	19.27973	10.19899	18.99198	9.183208
38.82171	10.34566	19.55814	10.34566	19.26357	9.315253
39.37171	10.49233	19.83659	10.49233	19.53512	9.447301
39.92171	10.63901	20.11508	10.63901	19.80663	9.579351
40.47171	10.78569	20.39362	10.78569	20.07809	9.711405
41.02171	10.93237	20.67218	10.93237	20.34953	9.843463
41.57171	11.07906	20.95079	11.07906	20.62092	9.975524
42.12171	11.22575	21.22944	11.22575	20.89227	10.10759
42.67171	11.37245	21.50813	11.37245	21.16359	10.23966
43.22171	11.51915	21.78685	11.51915	21.43486	10.37173
43.77171	11.66586	22.06561	11.66586	21.7061	10.5038
44.32171	11.81257	22.34441	11.81257	21.9773	10.63588
44.87171	11.95928	22.62325	11.95928	22.24846	10.76796
45.42171	12.106	22.90213	12.106	22.51958	10.90005
45.97171	12.25272	23.18105	12.25272	22.79066	11.03214
46.52171	12.39945	23.46001	12.39945	23.0617	11.16423
47.07171	12.54618	23.739	12.54618	23.33271	11.29632
47.62171	12.69292	24.01804	12.69292	23.60367	11.42843
48.1717	12.84552	24.29574	12.84552	23.87596	11.56641
48.72171	13.0217	24.57404	13.0217	24.14766	11.72792
49.27167	13.21514	24.85616	13.21514	24.41551	11.90662
49.82173	13.4344	25.13542	13.4344	24.68631	12.11116
50.37171	13.66198	25.41622	13.66198	24.95548	12.32399
50.92171	13.90098	25.69647	13.90098	25.22523	12.54822
51.47171	14.14811	25.97715	14.14811	25.49456	12.78057
51.60921	14.21079	26.04737	14.21079	25.56184	12.83956
51.61243	14.21165	26.049	14.21165	25.56343	12.84034
51.61364	14.21198	26.04962	14.21198	25.56403	12.84063
51.61523	14.21348	26.05051	14.21348	25.56472	12.84208
51.61817	14.21561	26.05204	14.21561	25.56613	12.84413
51.62225	14.21801	26.05419	14.21801	25.56806	12.84642
51.62837	14.2216	26.05741	14.2216	25.57096	12.84985
51.63755	14.227	26.06225	14.227	25.5753	12.85499
51.65131	14.23509	26.0695	14.23509	25.58181	12.8627
51.67196	14.24723	26.08038	14.24723	25.59158	12.87428
51.70293	14.26546	26.09671	14.26546	25.60622	12.89165
51.74939	14.29283	26.1212	14.29283	25.62819	12.91774

51.81907	14.34345	26.15925	14.34345	25.65982	12.9664
51.9236	14.43092	26.2179	14.43092	25.7057	13.05085
52.08041	14.58893	26.30935	14.58893	25.77106	13.20421
52.13921	14.65248	26.34408	14.65248	25.79512	13.266
52.2274	14.75392	26.39663	14.75392	25.83077	13.36477
52.26048	14.79951	26.41717	14.79951	25.84331	13.40931
52.3101	14.86922	26.44812	14.86922	25.86198	13.47746
52.31474	14.87047	26.45048	14.87047	25.86426	13.47858
52.31477	14.87047	26.4505	14.87047	25.86428	13.47858
52.31477	14.87047	26.4505	14.87047	25.86428	13.47858





• Data grafik eksentrisitas 0 cm *meshing* 25

TOTAL		KIRI		KANAN	
RF1	U1	RF1	U1	RF1	U1
0	0	0	0	0	0
0.0055	0.001463	0.002758	0.001463	0.002742	0.001317
0.011	0.002926	0.005515	0.002926	0.005485	0.002634
0.01925	0.00512	0.009651	0.00512	0.009599	0.00461
0.031625	0.008412	0.015856	0.008412	0.015769	0.007574
0.050188	0.013349	0.025163	0.013349	0.025025	0.012019
0.078031	0.020755	0.039123	0.020755	0.038908	0.018687
0.119797	0.031864	0.060064	0.031864	0.059733	0.02869
0.182445	0.048527	0.091475	0.048527	0.09097	0.043693
0.276418	0.073522	0.138593	0.073522	0.137825	0.066198
0.417377	0.111015	0.209273	0.111015	0.208104	0.099956
0.628815	0.167254	0.315297	0.167254	0.313519	0.150593
0.945973	0.251613	0.474344	0.251613	0.471629	0.226549
1.42171	0.378152	0.71294	0.378152	0.70877	0.340482
1.97171	0.524446	0.988819	0.524446	0.982891	0.472201
2.52171	0.670741	1.264738	0.670741	1.256972	0.603921
3.07171	0.817037	1.540697	0.817037	1.531012	0.735641
3.62171	0.963334	1.816697	0.963334	1.805013	0.867362
4.17171	1.109633	2.092738	1.109633	2.078972	0.999083
4.72171	1.255934	2.368818	1.255934	2.352892	1.130805
5.27171	1.402236	2.644939	1.402236	2.626771	1.262528
5.82171	1.548539	2.9211	1.548539	2.90061	1.394251
6.37171	1.694845	3.197301	1.694845	3.174408	1.525976
6.92171	1.841151	3.473543	1.841151	3.448166	1.657701
7.47171	1.98746	3.749825	1.98746	3.721884	1.789427
8.02171	2.133769	4.026148	2.133769	3.995562	1.921153
8.57171	2.280081	4.302511	2.280081	4.269199	2.052881
9.12171	2.426394	4.578914	2.426394	4.542795	2.18461
9.671709	2.57271	4.855358	2.57271	4.816352	2.316339
10.22171	2.719027	5.131842	2.719027	5.089868	2.44807
10.77171	2.865345	5.408366	2.865345	5.363343	2.579801
11.32171	3.011666	5.684931	3.011666	5.636779	2.711534
11.87171	3.157988	5.961536	3.157988	5.910173	2.843267
12.42171	3.304313	6.238182	3.304313	6.183528	2.975002
12.97171	3.450639	6.514868	3.450639	6.456841	3.106738
13.52171	3.596968	6.791595	3.596968	6.730115	3.238475
14.07171	3.743298	7.068362	3.743298	7.003348	3.370213
14.62171	3.88963	7.345169	3.88963	7.276541	3.501953

15.17171	4.035965	7.622016	4.035965	7.549693	3.633694
15.72171	4.182302	7.898905	4.182302	7.822805	3.765436
16.27171	4.328641	8.175834	4.328641	8.095877	3.897179
16.82171	4.474982	8.452802	4.474982	8.368907	4.028924
17.37171	4.621325	8.729812	4.621325	8.641898	4.160671
17.92171	4.767671	9.006863	4.767671	8.914848	4.292418
18.47171	4.914018	9.283953	4.914018	9.187757	4.424167
19.02171	5.060369	9.561084	5.060369	9.460626	4.555918
19.57171	5.206721	9.838255	5.206721	9.733455	4.687671
20.12171	5.353076	10.11547	5.353076	10.00624	4.819425
20.67171	5.499434	10.39272	5.499434	10.27899	4.95118
21.22171	5.645794	10.67001	5.645794	10.5517	5.082937
21.77171	5.792157	10.94735	5.792157	10.82436	5.214696
22.32171	5.938522	11.22472	5.938522	11.09699	5.346457
22.87171	6.08489	11.50214	6.08489	11.36957	5.47822
23.42171	6.23126	11.77959	6.23126	11.64212	5.609984
23.97171	6.377633	12.05709	6.377633	11.91462	5.74175
24.52171	6.524009	12.33462	6.524009	12.18709	5.873518
25.07171	6.670387	12.6122	6.670387	12.45951	6.005288
25.62171	6.816769	12.88982	6.816769	12.73189	6.13706
26.17171	6.963153	13.16748	6.963153	13.00423	6.268834
26.72171	7.10954	13.44518	7.10954	13.27653	6.40061
27.27171	7.25593	13.72292	7.25593	13.54879	6.532388
27.82171	7.402323	14.0007	7.402323	13.82101	6.664168
28.37171	7.548719	14.27852	7.548719	14.09319	6.79595
28.92171	7.695118	14.55638	7.695118	14.36533	6.927735
29.47171	7.84152	14.83428	7.84152	14.63743	7.059522
30.02171	7.987925	15.11223	7.987925	14.90948	7.191311
30.57171	8.134333	15.39021	8.134333	15.1815	7.323102
31.12171	8.280745	15.66824	8.280745	15.45347	7.454896
31.67171	8.42716	15.9463	8.42716	15.72541	7.586692
32.22171	8.573578	16.22441	8.573578	15.9973	7.71849
32.77171	8.719999	16.50256	8.719999	16.26915	7.850291
33.32171	8.866424	16.78075	8.866424	16.54096	7.982095
33.87171	9.012852	17.05898	9.012852	16.81273	8.113901
34.42171	9.159284	17.33725	9.159284	17.08446	8.245709
34.97171	9.305719	17.61556	9.305719	17.35615	8.377521
35.52171	9.452158	17.89391	9.452158	17.6278	8.509335
36.07171	9.598601	18.1723	9.598601	17.89941	8.641152
36.62171	9.745046	18.45074	9.745046	18.17097	8.772971
37.17171	9.891496	18.72921	9.891496	18.4425	8.904794



37.72171	10.03795	19.00773	10.03795	18.71398	9.036619
38.27171	10.18441	19.28628	10.18441	18.98543	9.168447
38.82171	10.33087	19.56488	10.33087	19.25683	9.300278
39.37171	10.47733	19.84352	10.47733	19.52819	9.432113
39.92171	10.6238	20.1222	10.6238	19.79951	9.56395
40.47171	10.77027	20.40092	10.77027	20.07079	9.695791
41.02171	10.91675	20.67968	10.91675	20.34203	9.827634
41.57171	11.06323	20.95849	11.06323	20.61322	9.959481
42.12171	11.20972	21.23733	11.20972	20.88438	10.09133
42.67171	11.35621	21.51622	11.35621	21.15549	10.22318
43.22171	11.5027	21.79515	11.5027	21.42656	10.35504
43.77171	11.6492	22.07411	11.6492	21.6976	10.4869
44.32171	11.7957	22.35312	11.7957	21.96859	10.61876
44.87171	11.94221	22.63218	11.94221	22.23953	10.75063
45.42171	12.08872	22.91127	12.08872	22.51044	10.8825
45.97171	12.24018	23.18886	12.24018	22.78284	11.01933
46.52171	12.39292	23.46611	12.39292	23.0556	11.15744
47.07171	12.55261	23.74146	12.55261	23.33025	11.30251
47.62174	12.71555	24.01585	12.71555	23.60589	11.45085
48.17171	12.88709	24.29036	12.88709	23.88135	11.60775
48.72171	13.08115	24.56862	13.08115	24.15309	11.7871
49.27171	13.28671	24.8487	13.28671	24.42301	11.97788
49.40921	13.34174	24.91901	13.34174	24.4902	12.02922
49.61546	13.42787	25.02478	13.42787	24.59068	12.10977
49.92484	13.5601	25.18396	13.5601	24.74088	12.23364
50.03885	13.61326	25.24424	13.61326	24.79461	12.28365
50.21487	13.69395	25.33483	13.69395	24.88004	12.35959
50.47591	13.82576	25.47244	13.82576	25.00347	12.48423
50.86746	14.06825	25.68523	14.06825	25.18223	12.71574
50.90184	14.09998	25.70541	14.09998	25.19643	12.74644
50.93621	14.13255	25.72571	14.13255	25.2105	12.77799
50.97059	14.20986	25.75236	14.20986	25.21823	12.85404
50.97273	14.21043	25.75345	14.21043	25.21928	12.85455
50.97488	14.21101	25.75454	14.21101	25.22034	12.85507
50.97493	14.21102	25.75457	14.21102	25.22037	12.85508
50.97501	14.21104	25.75461	14.21104	25.2204	12.8551
50.97504	14.21105	25.75462	14.21105	25.22042	12.85511
50.97505	14.21105	25.75463	14.21105	25.22042	12.85511
50.97505	14.21105	25.75463	14.21105	25.22042	12.85511

• Data grafik eksentrisitas 60 cm *meshing* 4

TOTAL		KIRI		KANAN	
RF1	U1	RF1	U1	RF1	U1
0	0	0	0	0	0
0.055	0.030633	0.027586	0.030633	0.027414	0.029175
0.11	0.061267	0.055173	0.061267	0.054827	0.05835
0.1925	0.107218	0.096554	0.107218	0.095946	0.102113
0.31625	0.176148	0.15863	0.176148	0.15762	0.167759
0.501875	0.279548	0.251752	0.279548	0.250123	0.266229
0.780312	0.43466	0.391452	0.43466	0.388861	0.413937
1.197969	0.667356	0.601042	0.667356	0.596927	0.63551
1.747969	0.973837	0.877118	0.973837	0.870851	0.927311
2.297969	1.280377	1.153276	1.280377	1.144692	1.219132
2.847969	1.586977	1.429517	1.586977	1.418451	1.510976
3.397969	1.893638	1.705841	1.893638	1.692127	1.802842
3.947969	2.200361	1.982248	2.200361	1.965721	2.094732
4.497969	2.507146	2.258737	2.507146	2.239231	2.386647
5.047969	2.813995	2.535309	2.813995	2.51266	2.678587
5.597969	3.120908	2.811964	3.120908	2.786005	2.970553
6.147969	3.427887	3.088701	3.427887	3.059267	3.262547
6.697968	3.734933	3.365521	3.734933	3.332447	3.554569
7.247968	4.042045	3.642425	4.042045	3.605544	3.84662
7.797969	4.349227	3.919411	4.349227	3.878558	4.138702
8.347969	4.656477	4.19648	4.656477	4.151489	4.430814
8.897969	4.963798	4.473631	4.963798	4.424338	4.722958
9.447969	5.271191	4.750866	5.271191	4.697103	5.015135
9.997969	5.578655	5.028184	5.578655	4.969785	5.307347
10.54797	5.886193	5.305584	5.886193	5.242384	5.599592
11.09797	6.193806	5.583068	6.193806	5.514901	5.891874
11.64797	6.501494	5.860635	6.501494	5.787334	6.184192
12.19797	6.809258	6.138284	6.809258	6.059684	6.476549
12.74797	7.1171	6.416017	7.1171	6.331952	6.768943
13.29797	7.42502	6.693834	7.42502	6.604135	7.061378
13.84797	7.733019	6.971733	7.733019	6.876236	7.353853
14.39797	8.041099	7.249715	8.041099	7.148254	7.646369
14.94797	8.34926	7.52778	8.34926	7.420188	7.938929
15.49797	8.657505	7.80593	8.657505	7.692039	8.231532
16.04797	8.965833	8.084162	8.965833	7.963807	8.524179
16.59797	9.274245	8.362477	9.274245	8.235491	8.816873
17.14797	9.582744	8.640877	9.582744	8.507092	9.109613
17.69797	9.891329	8.919359	9.891329	8.778609	9.402401



18.24797	10.2	9.197926	10.2	9.050043	9.695238
18.79797	10.50877	9.476575	10.50877	9.321394	9.988124
19.34797	10.81762	9.755309	10.81762	9.59266	10.28106
19.89797	11.12656	10.03413	11.12656	9.863844	10.57405
20.44797	11.4356	10.31303	11.4356	10.13494	10.8671
20.99797	11.74473	10.59201	11.74473	10.40596	11.16019
21.54797	12.05396	10.87108	12.05396	10.67689	11.45335
22.09797	12.36328	11.15023	12.36328	10.94774	11.74655
22.64797	12.6727	11.42947	12.6727	11.2185	12.03982
23.19797	12.98222	11.70879	12.98222	11.48918	12.33315
23.74797	13.29184	11.98819	13.29184	11.75978	12.62653
24.29797	13.60156	12.26768	13.60156	12.03029	12.91998
24.84797	13.91138	12.54725	13.91138	12.30072	13.21349
25.39797	14.22131	12.82691	14.22131	12.57106	13.50706
25.94797	14.53333	13.10628	14.53333	12.84169	13.80215
26.49798	14.90885	13.3742	14.90885	13.12378	14.14338
27.04797	15.28449	13.6422	15.28449	13.40576	14.48465
27.59797	15.66031	13.91031	15.66031	13.68766	14.82601
28.14797	16.03628	14.17851	16.03628	13.96945	15.16745
28.69797	16.41241	14.44681	16.41241	14.25116	15.50897
29.24797	16.78871	14.71521	16.78871	14.53276	15.85058
29.79798	17.24687	14.97914	17.24687	14.81885	16.2485
30.34798	17.76001	15.24501	17.76001	15.10297	16.684
30.89797	18.27325	15.511	18.27325	15.38697	17.11942
31.44794	18.87042	15.77849	18.87042	15.66945	17.61924
31.99797	19.75134	16.0599	19.75134	15.93807	18.32633
32.54797	20.97439	16.34495	20.97439	16.20301	19.34095
33.09797	22.44465	16.63543	22.44465	16.46254	20.57414
33.64797	24.17568	16.93782	24.17568	16.71015	21.97008
34.19797	26.17024	17.25453	26.17024	16.94343	23.55354
34.74797	28.2205	17.57168	28.2205	17.17629	25.17951
35.29797	31.06076	17.89561	31.06076	17.40236	27.36667
35.84797	33.88016	18.22134	33.88016	17.62663	29.6076
36.39789	36.78387	18.54552	36.78387	17.85237	31.93475
36.94797	38.94499	18.8701	38.94499	18.07786	33.69489
37.49797	41.20173	19.1963	41.20173	18.30167	35.5655
38.04787	43.58213	19.52601	43.58213	18.52186	37.57375
38.59798	45.98482	19.85567	45.98482	18.74231	39.59765
39.14799	48.22956	20.18407	48.22956	18.96393	41.4955
39.69797	50.32244	20.51253	50.32244	19.18544	43.26734
40.24795	52.85743	20.8388	52.85743	19.40915	45.39824

40.38547	53.77253	20.92996	53.77253	19.45551	46.17542
40.52289	54.77111	21.02623	54.77111	19.49666	46.98318
40.66047	55.95483	21.1273	55.95483	19.53317	47.92917
40.71203	57.56832	21.14757	57.56832	19.56447	49.22522
40.71687	57.76013	21.14908	57.76013	19.56778	49.37926
40.7217	57.9485	21.1506	57.9485	19.5711	49.53055
40.72653	58.1338	21.15212	58.1338	19.57442	49.67938
40.72835	58.20255	21.15269	58.20255	19.57566	49.7346
40.72903	58.22822	21.1529	58.22822	19.57613	49.75522
40.73005	58.26661	21.15322	58.26661	19.57683	49.78605
40.73043	58.27435	21.15338	58.27435	19.57705	49.79233
40.731	58.27485	21.15365	58.27485	19.57735	49.79276
40.73158	58.27538	21.15392	58.27538	19.57766	49.7932
40.73172	58.27546	21.154	58.27546	19.57772	49.79327
40.73193	58.27559	21.15411	58.27559	19.57783	49.79339
40.73226	58.27579	21.15428	58.27579	19.57798	49.79357
40.73238	58.27586	21.15434	58.27586	19.57804	49.79363
40.73256	58.27597	21.15443	58.27597	19.57813	49.79374
40.73263	58.27601	21.15447	58.27601	19.57816	49.79377
40.73265	58.27602	21.15448	58.27602	19.57817	49.79379
40.73269	58.27605	21.1545	58.27605	19.57819	49.79381
40.7327	58.27605	21.15451	58.27605	19.57819	49.79382
40.73273	58.27607	21.15452	58.27607	19.5782	49.79383
40.73273	58.27607	21.15452	58.27607	19.5782	49.79383



• Data grafik eksentrisitas 60 cm *meshing* 25

TOTAL		KIRI		KANAN	
RF1	U1	RF1	U1	RF1	U1
0	0	0	0	0	0
0.055	0.030485	0.027587	0.030485	0.027413	0.029027
0.11	0.060971	0.055175	0.060971	0.054825	0.058055
0.1925	0.106701	0.096558	0.106701	0.095942	0.101596
0.31625	0.175298	0.158637	0.175298	0.157613	0.16691
0.501875	0.2782	0.251764	0.2782	0.250111	0.264881
0.780313	0.432564	0.391473	0.432564	0.388839	0.411842
1.197969	0.664138	0.601081	0.664138	0.596887	0.632294
1.747969	0.969143	0.877188	0.969143	0.870781	0.922618
2.297969	1.274208	1.153386	1.274208	1.144583	1.212963
2.847969	1.579333	1.429674	1.579333	1.418295	1.50333
3.397969	1.884518	1.706052	1.884518	1.691916	1.79372
3.947969	2.189766	1.982522	2.189766	1.965447	2.084133
4.497969	2.495077	2.259082	2.495077	2.238887	2.374571
5.047969	2.800451	2.535733	2.800451	2.512236	2.665033
5.597969	3.10589	2.812475	3.10589	2.785494	2.955522
6.147969	3.411395	3.089307	3.411395	3.058661	3.246037
6.697969	3.716965	3.366231	3.716965	3.331738	3.53658
7.247969	4.022603	3.643245	4.022603	3.604724	3.827152
7.797969	4.32831	3.92035	4.32831	3.877618	4.117753
8.347969	4.634085	4.197546	4.634085	4.150422	4.408384
8.897969	4.93993	4.474833	4.93993	4.423136	4.699046
9.447969	5.245846	4.752211	5.245846	4.695757	4.98974
9.997969	5.551833	5.02968	5.551833	4.968288	5.280467
10.54797	5.857894	5.30724	5.857894	5.240729	5.571228
11.09797	6.164028	5.584891	6.164028	5.513077	5.862023
11.64797	6.470236	5.862634	6.470236	5.785335	6.152853
12.19797	6.77652	6.140467	6.77652	6.057502	6.44372
12.74797	7.08288	6.418391	7.08288	6.329577	6.734625
13.29797	7.389318	6.696407	7.389318	6.601562	7.025566
13.84797	7.695834	6.974514	7.695834	6.873455	7.316547
14.39797	8.002429	7.252713	8.002429	7.145256	7.607569
14.94797	8.309104	7.531002	8.309104	7.416967	7.898631
15.49797	8.615862	7.809383	8.615862	7.688586	8.189735
16.04797	8.922701	8.087855	8.922701	7.960114	8.480881
16.59797	9.229623	8.366419	9.229623	8.23155	8.772071
17.14797	9.53663	8.645073	9.53663	8.502895	9.063306
17.69797	9.843721	8.92382	9.843721	8.774148	9.354587

18.24797	10.1509	9.202659	10.1509	9.04531	9.645914
18.79797	10.45816	9.481588	10.45816	9.31638	9.937288
19.34797	10.76552	9.76061	10.76552	9.587359	10.22871
19.89797	11.07296	10.03972	11.07296	9.858245	10.52018
20.44797	11.3805	10.31893	11.3805	10.12904	10.81171
20.99797	11.68812	10.59823	11.68812	10.39974	11.10328
21.54797	11.99584	10.87761	11.99584	10.67036	11.39491
22.09797	12.30365	11.15709	12.30365	10.94088	11.68659
22.64797	12.61156	11.43667	12.61156	11.2113	11.97833
23.19797	12.91956	11.71633	12.91956	11.48164	12.27012
23.74797	13.22766	11.99609	13.22766	11.75188	12.56197
24.29797	13.54265	12.27469	13.54265	12.02328	12.85897
24.84797	13.86855	12.5514	13.86855	12.29657	13.16412
25.39797	14.2166	12.82596	14.2166	12.57201	13.48562
25.94797	14.57188	13.10072	14.57188	12.84725	13.81237
26.49797	14.93486	13.37432	14.93486	13.12365	14.14469
27.04797	15.32765	13.64511	15.32765	13.40286	14.49847
27.59797	15.76668	13.91926	15.76668	13.67871	14.88516
28.14797	16.25048	14.19395	16.25048	13.95403	15.30747
28.69797	17.26077	14.50245	17.26077	14.19552	16.14876
28.83547	17.53889	14.57954	17.53889	14.25593	16.37888
29.04172	17.8501	14.6831	17.8501	14.35862	16.64352
29.35109	18.26466	14.8346	18.26466	14.5165	16.99873
29.81516	18.95235	15.06288	18.95235	14.75227	17.57843
30.36516	19.82699	15.32916	19.82699	15.03599	18.32354
30.91516	21.42259	15.62062	21.42259	15.29453	19.6531
31.46516	22.60844	15.89131	22.60844	15.57384	20.64681
32.01516	24.11688	16.17628	24.11688	15.83888	21.88907
32.56515	25.79416	16.47146	25.79416	16.09369	23.32197
33.11515	28.09721	16.77225	28.09721	16.34291	25.28915
33.66511	30.19472	17.07826	30.19472	16.58685	27.10609
34.21524	32.43037	17.37415	32.43037	16.84109	29.01263
34.76529	34.53484	17.67793	34.53484	17.08735	30.76964
34.90266	35.07412	17.75516	35.07412	17.1475	31.21535
34.95423	35.28604	17.78434	35.28604	17.16989	31.39376
34.97356	35.37742	17.79565	35.37742	17.17791	31.47246
35.00257	35.51465	17.81264	35.51465	17.18993	31.59063
35.04607	35.72049	17.83812	35.72049	17.20795	31.76786
35.11132	36.0877	17.87625	36.0877	17.23508	32.07973
35.20921	36.66199	17.93332	36.66199	17.27589	32.56594
35.35604	37.4856	18.01865	37.4856	17.3374	33.26283



35.57628	38.58832	18.14783	38.58832	17.42845	34.20241
35.90666	40.13824	18.34286	40.13824	17.5638	35.52918
36.40206	42.52852	18.62638	42.52852	17.77568	37.55626
36.95222	45.52088	18.94337	45.52088	18.00885	40.10163
37.0898	46.159	19.02289	46.159	18.06691	40.63939
37.1241	46.31856	19.04276	46.31856	18.08134	40.77382
37.17561	46.59156	19.07385	46.59156	18.10177	41.00659
37.195	46.69698	19.08558	46.69698	18.10943	41.09677
37.20225	46.73669	19.08999	46.73669	18.11226	41.13075
37.21313	46.79764	19.09664	46.79764	18.11649	41.18291
37.2172	46.8205	19.09913	46.8205	18.11807	41.20248
37.22332	46.85345	19.10283	46.85345	18.12049	41.23062
37.23254	46.90873	19.10857	46.90873	18.12398	41.27806
37.24626	46.99069	19.11712	46.99069	18.12915	41.34839
37.26691	47.11358	19.12994	47.11358	18.13698	41.45382
37.2979	47.29772	19.14916	47.29772	18.14873	41.61178
37.34434	47.58584	19.17898	47.58584	18.16536	41.84853
37.41404	48.03251	19.22436	48.03251	18.18968	42.21262
37.51856	48.7037	19.29243	48.7037	18.22613	42.75953
37.67541	50.17063	19.38256	50.17063	18.29285	43.93698
37.91056	52.28	19.47542	52.28	18.43515	45.71967
37.99876	52.99072	19.51144	52.99072	18.48732	46.32697
38.13038	54.12646	19.56254	54.12646	18.56785	47.29542
38.14346	54.23963	19.56756	54.23963	18.5759	47.39208
38.14808	54.2882	19.56979	54.2882	18.57829	47.43373
38.15509	54.361	19.57312	54.361	18.58197	47.49614
38.1577	54.38831	19.57437	54.38831	18.58333	47.51955
38.15868	54.39854	19.57484	54.39854	18.58384	47.52833
38.16015	54.41257	19.57554	54.41257	18.58462	47.54032
38.16236	54.43361	19.57659	54.43361	18.58578	47.55832
38.16572	54.48234	19.57823	54.48234	18.58749	47.60037
38.17064	54.5462	19.58065	54.5462	18.58999	47.65537
38.17811	54.64189	19.58428	54.64189	18.59383	47.7378
38.18927	54.7844	19.58973	54.7844	18.59954	47.8606
38.20588	54.99302	19.59794	54.99302	18.60794	48.04046
38.23123	55.29504	19.61035	55.29504	18.62088	48.30056
38.2689	55.76479	19.62881	55.76479	18.64009	48.70442
38.32505	57.05773	19.67596	57.05773	18.64909	49.80184
38.3308	57.33937	19.68285	57.33937	18.64795	50.03642
38.33884	58.01482	19.69622	58.01482	18.64262	50.59502
38.3418	58.49784	19.70385	58.49784	18.63795	50.99201

38.34282	58.67064	19.70661	58.67064	18.63622	51.13402
38.34325	58.734	19.70761	58.734	18.63564	51.18609
38.3434	58.75765	19.70799	58.75765	18.63541	51.20552
38.34364	58.82345	19.7089	58.82345	18.63474	51.25961
38.34399	58.82367	19.70909	58.82367	18.63491	51.25981
38.34452	58.824	19.70936	58.824	18.63516	51.26012
38.34532	58.82449	19.70978	58.82449	18.63554	51.26058
38.34562	58.82467	19.70993	58.82467	18.63568	51.26075
38.34607	58.82506	19.71018	58.82506	18.63588	51.26111
38.34607	58.82506	19.71014	58.82506	18.63593	51.26111





• Data grafik eksentrisitas 120 cm *meshing* 4

TOTAL		KIRI		KANAN	
RF1	U1	RF1	U1	RF1	U1
0	0	0	0	0	0
0.00055	0.000625	0.000276	0.000625	0.000274	0.00061
0.0011	0.001249	0.000552	0.001249	0.000548	0.00122
0.001925	0.002186	0.000966	0.002186	0.000959	0.002135
0.003163	0.003591	0.001587	0.003591	0.001576	0.003507
0.005019	0.005699	0.002518	0.005699	0.002501	0.005566
0.007803	0.00886	0.003915	0.00886	0.003889	0.008653
0.01198	0.013603	0.00601	0.013603	0.00597	0.013285
0.018245	0.020716	0.009153	0.020716	0.009092	0.020232
0.027642	0.031387	0.013867	0.031387	0.013775	0.030653
0.041738	0.047392	0.020939	0.047392	0.020799	0.046285
0.062882	0.071401	0.031546	0.071401	0.031335	0.069733
0.094597	0.107415	0.047458	0.107415	0.047139	0.104905
0.142171	0.161437	0.071327	0.161437	0.070844	0.157663
0.213531	0.242472	0.107132	0.242472	0.1064	0.236801
0.320572	0.364031	0.160844	0.364031	0.159728	0.355509
0.481133	0.546384	0.241423	0.546384	0.239711	0.533577
0.721975	0.819944	0.362314	0.819944	0.359661	0.800689
1.083237	1.230353	0.543703	1.230353	0.539535	1.20138
1.625131	1.846125	0.815904	1.846125	0.809227	1.802469
2.175131	2.471304	1.092321	2.471304	1.08281	2.412616
2.725131	3.09668	1.368884	3.09668	1.356247	3.02283
3.275131	3.722256	1.645592	3.722256	1.629539	3.633113
3.825131	4.348033	1.922446	4.348033	1.902686	4.243467
4.375131	4.974012	2.199445	4.974012	2.175686	4.853892
4.925131	5.600194	2.47659	5.600194	2.448542	5.464389
5.475131	6.226582	2.75388	6.226582	2.721251	6.074961
6.025131	6.853176	3.031316	6.853176	2.993815	6.685609
6.575131	7.479978	3.308898	7.479978	3.266233	7.296332
7.125131	8.10699	3.586625	8.10699	3.538505	7.907134
7.675131	8.734212	3.864499	8.734212	3.810632	8.518016
8.225131	9.361647	4.142518	9.361647	4.082613	9.128978
8.775131	9.989295	4.420683	9.989295	4.354448	9.740022
9.325131	10.61716	4.698994	10.61716	4.626137	10.35115
9.875131	11.24524	4.977451	11.24524	4.89768	10.96236
10.42513	11.87354	5.256054	11.87354	5.169077	11.57366
10.97513	12.50206	5.534803	12.50206	5.440329	12.18505
11.52513	13.1308	5.813698	13.1308	5.711433	12.79652

12.07513	13.75976	6.092739	13.75976	5.982392	13.40808
12.62513	14.38895	6.371927	14.38895	6.253205	14.01974
13.17513	15.01836	6.65126	15.01836	6.523871	14.63149
13.72513	15.648	6.93074	15.648	6.794391	15.24333
14.27513	16.27787	7.210366	16.27787	7.064765	15.85527
14.82513	16.90797	7.490139	16.90797	7.334992	16.46731
15.37513	17.5383	7.770058	17.5383	7.605073	17.07944
15.92513	18.16887	8.050123	18.16887	7.875008	17.69168
16.47513	18.79967	8.330336	18.79967	8.144795	18.30401
17.02513	19.45447	8.608464	19.45447	8.41667	18.93588
17.57515	20.2227	8.87613	20.2227	8.699019	19.66036
18.12513	20.99113	9.143943	20.99113	8.981188	20.38481
18.67513	21.75992	9.411934	21.75992	9.263198	21.10938
19.22514	22.64742	9.69316	22.64742	9.531978	21.92851
19.77519	23.90545	9.97593	23.90545	9.799261	23.04171
20.32513	25.30368	10.26612	25.30368	10.05901	24.3101
20.87512	26.79024	10.55535	26.79024	10.31976	25.66064
21.42513	28.32174	10.84351	28.32174	10.58162	27.04612
21.97516	30.05392	11.13606	30.05392	10.8391	28.57762
22.52513	31.94712	11.43939	31.94712	11.08574	30.2217
23.07513	33.84252	11.743	33.84252	11.33214	31.86588
23.62512	35.8413	12.05076	35.8413	11.57437	33.62026
24.17514	38.28755	12.34755	38.28755	11.82759	35.80732
24.72513	40.77639	12.64611	40.77639	12.07901	38.01966
25.27513	43.37337	12.95055	43.37337	12.32458	40.29694
25.82513	46.02323	13.25394	46.02323	12.57119	42.62218
26.37513	48.75114	13.55562	48.75114	12.81952	45.01987
26.92513	51.48464	13.85753	51.48464	13.06761	47.41847
27.47513	54.22357	14.15967	54.22357	13.31546	49.81788
28.02514	57.74844	14.38354	57.74844	13.64161	52.90803
28.57513	65.8869	14.57652	65.8869	13.99861	60.06588
29.12513	82.42739	14.91388	82.42739	14.21125	74.73847
29.67492	107.7749	15.30127	107.7749	14.37365	97.33828
30.22518	133.1882	15.70519	133.1882	14.51999	120.7345
30.3626	141.2705	15.81368	141.2705	14.54893	128.1568
30.50003	148.7587	15.912	148.7587	14.58802	134.889
30.70639	162.1766	16.07912	162.1766	14.62727	146.7937
31.01573	180.0064	16.32541	180.0064	14.69032	162.7982
31.48003	198.1701	16.66356	198.1701	14.81647	178.9101
31.61732	203.3394	16.76127	203.3394	14.85605	183.5407
31.82356	213.6519	16.92559	213.6519	14.89797	192.7163



32.13284	239.7118	17.21148	239.7118	14.92136	215.5923
32.24893	257.1973	17.3564	257.1973	14.89254	230.5373
32.25984	258.6929	17.36999	258.6929	14.88984	231.8114
32.27614	260.9296	17.39028	260.9296	14.88586	233.7161
32.27768	260.9316	17.39115	260.9316	14.88653	233.7179
32.27999	261.4357	17.39497	261.4357	14.88502	234.1473
32.28083	261.5497	17.39598	261.5497	14.88485	234.2443
32.28116	261.5924	17.39638	261.5924	14.88478	234.2807
32.28164	261.6565	17.39696	261.6565	14.88468	234.3353
32.28182	261.6671	17.39709	261.6671	14.88473	234.3443
32.28189	261.6675	17.39716	261.6675	14.88473	234.3446
32.28199	261.6676	17.39722	261.6676	14.88477	234.3448
32.28215	261.6678	17.3973	261.6678	14.88484	234.3449
32.28238	261.6681	17.39743	261.6681	14.88494	234.3452
32.28272	261.6685	17.39763	261.6685	14.88509	234.3456
32.28324	261.6692	17.39792	261.6692	14.88531	234.3462
32.28343	261.6695	17.39803	261.6695	14.8854	234.3464
32.28372	261.6698	17.3982	261.6698	14.88553	234.3467
32.28375	261.6698	17.39821	261.6698	14.88554	234.3468
32.28376	261.6699	17.39822	261.6699	14.88554	234.3468
32.28378	261.6699	17.39823	261.6699	14.88555	234.3468
32.28378	261.6699	17.39823	261.6699	14.88555	234.3468
32.28379	261.6699	17.39823	261.6699	14.88555	234.3468

• Data grafik eksentrisitas 120 cm *meshing* 25

TOTAL		KIRI		KANAN	
RF1	U1	RF1	U1	RF1	U1
0	0	0	0	0	0
0.00055	0.000619	0.000276	0.000619	0.000274	0.000604
0.0011	0.001238	0.000552	0.001238	0.000548	0.001209
0.001925	0.002166	0.000966	0.002166	0.000959	0.002115
0.003162	0.003558	0.001587	0.003558	0.001576	0.003475
0.005019	0.005647	0.002518	0.005647	0.002501	0.005514
0.007803	0.00878	0.003915	0.00878	0.003888	0.008573
0.01198	0.013479	0.00601	0.013479	0.00597	0.013162
0.018245	0.020529	0.009153	0.020529	0.009091	0.020045
0.027642	0.031103	0.013868	0.031103	0.013774	0.030369
0.041738	0.046963	0.02094	0.046963	0.020798	0.045856
0.062882	0.070755	0.031548	0.070755	0.031334	0.069087
0.094597	0.106443	0.04746	0.106443	0.047137	0.103933
0.142171	0.159976	0.07133	0.159976	0.070841	0.156202
0.213531	0.240278	0.107137	0.240278	0.106395	0.234607
0.320572	0.360737	0.160852	0.360737	0.15972	0.352216
0.481133	0.54144	0.241436	0.54144	0.239697	0.528634
0.721975	0.812524	0.362337	0.812524	0.359638	0.793272
1.083237	1.219221	0.543743	1.219221	0.539494	1.190251
1.625131	1.829423	0.815979	1.829423	0.809152	1.785772
2.175131	2.448948	1.092442	2.448948	1.082689	2.390267
2.725131	3.068669	1.36906	3.068669	1.356071	2.99483
3.275131	3.688589	1.645834	3.688589	1.629297	3.59946
3.825131	4.308709	1.922763	4.308709	1.902368	4.204161
4.375131	4.929029	2.199848	4.929029	2.175283	4.808933
4.925131	5.549552	2.477088	5.549552	2.448043	5.413776
5.475131	6.170279	2.754484	6.170279	2.720647	6.018693
6.025131	6.791211	3.032036	6.791211	2.993095	6.623683
6.575131	7.412349	3.309744	7.412349	3.265387	7.228751
7.125131	8.033696	3.587607	8.033696	3.537524	7.833894
7.675131	8.655251	3.865626	8.655251	3.809505	8.439116
8.225131	9.277017	4.143801	9.277017	4.08133	9.044418
8.775131	9.898995	4.422132	9.898995	4.352999	9.6498
9.325131	10.52119	4.700619	10.52119	4.624512	10.25526
9.875131	11.14359	4.979262	11.14359	4.89587	10.86081
10.42513	11.76621	5.258061	11.76621	5.16707	11.46644
10.97513	12.38905	5.537016	12.38905	5.438116	12.07216
11.52513	13.01211	5.816127	13.01211	5.709004	12.67796



12.07513	13.63539	6.095394	13.63539	5.979737	13.28386
12.62513	14.25889	6.374818	14.25889	6.250314	13.88984
13.17513	14.88262	6.654398	14.88262	6.520734	14.49591
13.72513	15.50656	6.934134	15.50656	6.790998	15.10208
14.27513	16.13074	7.214026	16.13074	7.061105	15.70833
14.82513	16.75514	7.494075	16.75514	7.331056	16.31469
15.37513	17.3807	7.774182	17.3807	7.600949	16.92191
15.92513	18.08427	8.053027	18.08427	7.872105	17.59419
16.47513	18.82347	8.330546	18.82347	8.144586	18.29592
17.02513	19.60692	8.607512	19.60692	8.41762	19.03386
17.57513	21.03991	8.896986	21.03991	8.678145	20.37085
18.12513	23.06401	9.191632	23.06401	8.933499	22.22719
18.67513	25.40818	9.485626	25.40818	9.189505	24.35623
19.22513	26.86521	9.768641	26.86521	9.456491	25.69569
19.77513	28.3215	10.05448	28.3215	9.720656	27.02951
20.32513	29.8708	10.3436	29.8708	9.981536	28.44323
20.87513	31.5832	10.63805	31.5832	10.23708	29.999
21.42513	33.73161	10.94355	33.73161	10.48158	31.93948
21.97513	35.97228	11.23667	35.97228	10.73847	33.95319
22.52513	38.04629	11.519	38.04629	11.00613	35.8508
23.07513	40.01344	11.81559	40.01344	11.25954	37.67146
23.62513	42.04585	12.1105	42.04585	11.51463	39.54566
24.17513	44.1069	12.39874	44.1069	11.77639	41.45177
24.31263	44.62122	12.47067	44.62122	11.84196	41.92491
24.51888	45.37006	12.57783	45.37006	11.94105	42.61295
24.59623	45.65696	12.61819	45.65696	11.97803	42.87504
24.71224	46.08733	12.67874	46.08733	12.0335	43.26807
24.88626	46.74026	12.76938	46.74026	12.11688	43.86317
25.14733	47.80237	12.89642	47.80237	12.25091	44.82932
25.53885	49.73008	13.05083	49.73008	12.48803	46.57482
26.08884	54.02589	13.29817	54.02589	12.79066	50.42394
26.63909	59.83554	13.54731	59.83554	13.09177	55.66991
26.77635	62.5043	13.61182	62.5043	13.16453	58.10044
26.82792	64.03878	13.63591	64.03878	13.19201	59.49763
26.90526	66.18172	13.67551	66.18172	13.22975	61.44756
27.02128	71.11043	13.74445	71.11043	13.27683	65.91004
27.06477	73.03719	13.77199	73.03719	13.29278	67.68346
27.13004	75.42967	13.81278	75.42967	13.31726	69.89162
27.22793	79.83636	13.87466	79.83636	13.35327	73.95582
27.26464	81.32297	13.9006	81.32297	13.36404	75.31157
27.3197	83.6661	13.94036	83.6661	13.37934	77.44362

27.40197	86.94033	13.99809	86.94033	13.40388	80.4383
27.52618	91.95736	14.07964	91.95736	13.44654	85.05271
27.57255	93.58701	14.10928	93.58701	13.46327	86.54796
27.64234	96.00471	14.15575	96.00471	13.48659	88.8045
27.74686	100.2527	14.23408	100.2527	13.51278	92.67881
27.90366	106.2737	14.34779	106.2737	13.55587	98.16858
27.96275	109.1184	14.394	109.1184	13.56875	100.7237
28.05049	112.5806	14.46543	112.5806	13.58506	103.8299
28.18302	116.518	14.57347	116.518	13.60955	107.4023
28.38134	123.0875	14.71427	123.0875	13.66707	113.355
28.45692	126.2286	14.76024	126.2286	13.69668	116.1581
28.56745	130.0065	14.827	130.0065	13.74045	119.5609
28.73423	136.4934	14.92961	136.4934	13.80462	125.428
28.79766	139.009	14.96779	139.009	13.82987	127.6807
28.89189	143.6224	15.02638	143.6224	13.86551	131.7944
28.92721	145.4453	15.04929	145.4453	13.87792	133.4353
28.9803	148.5117	15.09238	148.5117	13.88793	136.1983
29.05938	153.0228	15.16165	153.0228	13.89773	140.2174
29.17882	159.3792	15.26312	159.3792	13.9157	145.8729
29.35764	167.4681	15.40076	167.4681	13.95687	153.0911
29.42449	172.9572	15.45924	172.9572	13.96525	157.9577
29.43097	173.6438	15.46448	173.6438	13.96649	158.5634
29.44042	174.6889	15.47307	174.6889	13.96735	159.4838
29.44393	175.0753	15.47622	175.0753	13.96771	159.8238
29.44926	175.7001	15.48122	175.7001	13.96804	160.3743
29.45736	176.7812	15.48941	176.7812	13.96795	161.3281
29.46911	177.8765	15.50166	177.8765	13.96745	162.2938
29.48697	179.4865	15.52019	179.4865	13.96678	163.715
29.51389	181.743	15.54766	181.743	13.96623	165.7098
29.5554	186.0002	15.59613	186.0002	13.95927	169.4369
29.61459	192.4005	15.67613	192.4005	13.93845	175.0034
29.63742	193.8648	15.69848	193.8648	13.93894	176.2906
29.67127	195.8262	15.72756	195.8262	13.94371	178.0014
29.72253	199.0065	15.76912	199.0065	13.9534	180.7685
29.79863	207.2783	15.84543	207.2783	13.9532	187.7708
29.8751	219.5421	15.91252	219.5421	13.96258	198.0846
29.89423	225.6092	15.9358	225.6092	13.95843	203.1626
29.9229	233.6965	15.97015	233.6965	13.95275	210.0262
29.93365	236.4106	15.98146	236.4106	13.95219	212.3253
29.93754	237.4486	15.98554	237.4486	13.952	213.2035
29.94374	239.0255	15.99213	239.0255	13.95161	214.5345



29.946	239.6198	15.99455	239.6198	13.95145	215.0359
29.94685	239.8432	15.99546	239.8432	13.95139	215.2244
29.94717	239.9269	15.9958	239.9269	13.95137	215.295
29.9473	240.0579	15.99636	240.0579	13.95094	215.406
29.94747	240.4927	15.99819	240.4927	13.94928	215.7749
29.94754	240.6547	15.99888	240.6547	13.94866	215.9123
29.94756	240.7155	15.99914	240.7155	13.94843	215.9639
29.94757	240.723	15.99917	240.723	13.9484	215.9703
29.94758	240.7305	15.99921	240.7305	13.94837	215.9767
29.94759	240.7393	15.99925	240.7393	13.94834	215.9841
29.9476	240.7512	15.99931	240.7512	13.9483	215.9941
29.94763	240.7696	15.99939	240.7696	13.94823	216.0097
29.94766	240.7697	15.99942	240.7697	13.94824	216.0098
29.94769	240.7697	15.99944	240.7697	13.94825	216.0099
29.94772	240.7697	15.99945	240.7697	13.94827	216.0099
29.94777	240.7698	15.99948	240.7698	13.94829	216.0099
29.94784	240.77	15.99951	240.77	13.94833	216.0101
29.94795	240.7703	15.99955	240.7703	13.9484	216.0104
29.94811	240.7706	15.99964	240.7706	13.94847	216.0106
29.94835	240.771	15.99977	240.771	13.94858	216.011
29.94872	240.7716	15.99997	240.7716	13.94875	216.0115
29.94885	240.7718	16.00005	240.7718	13.94881	216.0116
29.9489	240.7719	16.00006	240.7719	13.94884	216.0118
29.94891	240.7719	16.00007	240.7719	13.94884	216.0118
29.94892	240.7719	16.00007	240.7719	13.94885	216.0118
29.94893	240.772	16.00008	240.772	13.94884	216.0119
29.94894	240.7721	16.00009	240.7721	13.94885	216.0119
29.94897	240.7721	16.0001	240.7721	13.94886	216.012
29.949	240.7722	16.00012	240.7722	13.94889	216.0121
29.94906	240.7739	16.00018	240.7739	13.94888	216.0134
29.94906	240.7739	16.00018	240.7739	13.94888	216.0135
29.94907	240.7739	16.00018	240.7739	13.94888	216.0135
29.94907	240.7739	16.00018	240.7739	13.94889	216.0135
29.94908	240.7739	16.00019	240.7739	13.94889	216.0135
29.94909	240.7739	16.00019	240.7739	13.9489	216.0135
29.94911	240.7739	16.0002	240.7739	13.9489	216.0135
29.94913	240.774	16.00022	240.774	13.94891	216.0135
29.94914	240.774	16.00022	240.774	13.94892	216.0136
29.94915	240.774	16.00023	240.774	13.94892	216.0136
29.94915	240.774	16.00023	240.774	13.94892	216.0136
29.94915	240.774	16.00023	240.774	13.94892	216.0136

29.94915	240.774	16.00023	240.774	13.94892	216.0136
29.94915	240.774	16.00023	240.774	13.94892	216.0136

